



TUGAS AKHIR TF141581

**PERANCANGAN SENSOR ARUS LISTRIK
SEARAH (DC) BERBASIS SERAT OPTIK
BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-
SINGLEMODE* (SMS) MENGGUNAKAN
OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER
(OTDR)**

HAFID LUTFAN IHWANI
NRP. 2412 100 024

Dosen Pembimbing
Prof.Dr.Ir. Sekartedjo, M.Sc
Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT TF141581

**DESIGN DIRECT CURRENT (DC) SENSOR
BASED ON SINGLEMODE-MULTIMODE-
SINGLEMODE (SMS) OPTICAL FIBER
STRUCTURE USING OPTICAL TIME DOMAIN
REFLECTOMETER (OTDR)**

HAFID LUTFAN IHWANI
NRP. 2412 100 024

Supervisors
Prof.Dr.Ir. Sekartedjo, M.Sc
Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SENSOR ARUS LISRIK SEARAH (DC)
BERBASIS SERAT OPTIK BERSTRUKTUR
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)
MENGUNAKAN *OPTICAL TIME DOMAIN*
REFLECTOMETER (OTDR)**

TUGAS AKHIR

Oleh :
HAFID LUTFAN IHWANI
NRP : 2412 100 024

Surabaya, Februari 2017
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc
NIP. 19500402 197901 1 001

Pembimbing II,



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002



Ketua Jurusan
Teknik Elektro FTI-ITS
Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SENSOR ARUS LISRIK SEARAH (DC)
BERBASIS SERAT OPTIK BERSTRUKTUR
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS)
MENGUNAKAN OPTICAL TIME DOMAIN
REFLECTOMETER (OTDR)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Fotonika
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HAFID LUTFAN IHWANI

NRP. 2412 100 024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc (Pembimbing I)
2. Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D (Pembimbing II)
3. Dr.rer.nat. Ir. Aulia M.T.N., M.Sc (Ketua Tim Penguji)
4. Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc (Penguji II)
5. Dr. Bambang Lelono W., S.T, M.T (Penguji III)

SURABAYA
FEBRUARI 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SENSOR ARUS LISRIK SEARAH (DC)
BERBASIS SERAT OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-
MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS) MENGGUNAKAN *OPTICAL
TIME DOMAIN REFLECTOMETER* (OTDR)**

Nama : Hafid Lutfan Ihwani
NRP : 2412 100 024
Jurusan : Teknik Fisika
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc
2. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

Abstrak

Pengukuran arus listrik merupakan hal mendasar dan penting untuk mengatur dan mengawasi seluruh perangkat industri, contohnya sistem tenaga listrik yang dimiliki oleh suatu industri. Dengan berkembangnya teknologi sistem tenaga listrik, diperlukan teknologi pengukuran baru yang memiliki akurasi tinggi dan tingkat keamanan yang tinggi. Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat sensor arus listrik searah (DC) berbasis serat optik berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS) menggunakan Optical Time Domain Reflectometer (OTDR). Pemilihan serat optik berstruktur SMS memiliki sensitivitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan serat optik berstruktur singlemode atau multimode saja. Perancangan sensor ini memanfaatkan efek Faraday, di mana cahaya inframerah yang telah terpolarisasi linier mengalami pergeseran sudut polarisasi setelah melewati medium medan magnet. Pengujian performansi dilakukan dengan cara mengukur perubahan rugi daya cahaya pantul pada serat optik berstruktur SMS yang dideteksi oleh detektor OTDR akibat pengaruh medan magnet pada konduktor. Rentang arus listrik searah (DC) yang digunakan untuk pengujian sebesar 0-17 A. Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, diperoleh sensitivitas tertinggi sensor sebesar 0,219 dB/A pada rentang pengukuran arus listrik 9-17 A dengan span sebesar 8 A menggunakan serat optik berstruktur SMS dengan multimode sepanjang 141,9 mm. Persamaan linieritas yang dihasilkan yaitu perubahan rugi daya = 0,21861 - 1,9672. Pada rentang pengukuran 7,4-17 A sensor tersebut telah memiliki tingkat presisi yang baik, yaitu di bawah 10%.

Kata Kunci- *Sensor arus listrik, Efek Faraday, Serat optik berstruktur SMS, OTDR*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN DIRECT CURRENT (DC) SENSOR BASED ON
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) OPTICAL
FIBER STUCTURE USING OPTICAL TIME DOMAIN
REFLECTOMETER (OTDR)**

Name : Hafid Lutfan Ihwani
NRP : 2412 100 024
Department : Engineering Physics
Supervisors :1. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc
2. Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

Abstract

Electric current measurement is a basic and important technique for control and supervision in most facilities industry, such as power system facilities. The development of power electrical systems, need a new measurement technology with a high accuracy and safety. In this research, it has been designed and made direct current (DC) sensor based on singlemode- multimode- singlemode (SMS) optical fiber stucture using optical time domain reflectometer (OTDR). SMS optical fiber structure has higher sensitivity than singlemode or multimode optical fiber. This research utilized the Faraday effect , which a linierly polarized light is rotated as it passes through a medium that is in a magnetic field. The experiment was done by measuring the change of event loss in the optical fiber that detected by OTDR due to the magnetic field. Measurement range of direct current is 0 - 17 A. It is found that the SMS optical fiber with length of 141,9 mm has the highest sensitivity of 0,227 dB/A at measurement range 9-17 A and span 8 A. Linierity equation that can be obtained is Event Loss Change = 0,2186I - 1,9672. Precision level of the sensor is under 10% at measurement range 7,4-17A.

Keywords - *Current Sensor, Faraday Effect, SMS Optical Fiber, OTDR*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-nya penulis mendapat kesempatan serta kemampuan untuk menjalani proses menuntut ilmu selama ini. Sholawat dan Salam penulis ucapkan kepada Rasulullah SAW yang menjadi suri teladan bagi seluruh umat manusia.

Akhirnya penulis telah menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir dengan Judul “ Perancangan Sensor Arus Listrik Searah (DC) Berbasis Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) Menggunakan *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR)” Kelancaran proses pembuatan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Ibu dan Ayah yang senantiasa memberikan dukungan dan doa kepada penulis. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada yang terhormat :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS dan pembimbing tugas akhir penulis yang telah banyak memberikan bimbingan dalam penelitian ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc, selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Fotonika Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS dan pembimbing tugas akhir penulis yang telah banyak memberikan bimbingan dalam penelitian ini.
3. Bapak Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc, selaku dosen wali penulis yang telah banyak memberikan bimbingan selama di perkuliahan.
4. Bapak Dr.rer.nat. Ir. Aulia M.T.N., M.Sc, selaku ketua tim penguj tugas akhir yang telah memberikan kritik dan saran dalam penelitian ini.
5. Ibu Ir. Apriyani Kusumawardhani, M.Sc, selaku penguji tugas akhir yang telah memberikan masukan dan kritik dalam penelitian ini.

6. Bapak Dr. Bambang Lelono, S.T, M.T, selaku penguji tugas akhir yang telah memberikan kritik dan masukan dalam penelitian ini.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen dan Karyawan Teknik Fisika FTI-ITS yang telah banyak mengajarkan ilmu kepada penulis
8. Krishna, Rais, Raisa, dan seluruh keluarga penulis yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Syakir, Peto, dan Yeni, yang bersama- sama berjuang menyelesaikan tugas akhir bidang minat Rekayasa Fotonika.
10. Firsan, Hadrain, Pandu, Bimo, Achmad, dan seluruh asisten Lab. Rekayasa Fotonika, yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir
11. Seluruh teman teman angkatan Teknik Fisika 2012 ,yang telah banyak memberikan semangat kepada penulis.
12. Seluruh saudara Rumah Kepemimpinan 7 dan pengurus JMMI TPKE ITS 15.16, yang memberikan dukungan bagi saudara-saudara yang sedang menyelesaikan tugas akhir.
13. Pak Gatot, yang telah membantu penulis dalam pembuatan *power supply*.
14. Pak Suryanto dan Pak Hadi Praseyta, yang telah mengajarkan penulis dalam menggunakan OTDR dengan benar

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak sempurna, Oleh karena itu sangat diharapkan saran yang membangun agar dapat dicapai hasil yang lebih baik lagi. Semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya,

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
COVER	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Sensor	7
2.2 Efek Faraday	9
2.3 Medan Magnet Pada Konduktor	11
2.4 Serat Optik <i>Step Index</i>	11
2.5 Serat Optik Berstruktur SMS	14
2.6 Efek <i>Multimode Interference</i>	16
2.7 <i>Fiber Polarization Controller</i>	17
2.8 <i>Optical Timer Domain Reflectometer (OTDR)</i>	19
2.9 Hubungan panjang Gelombang terhadap Laju Attenuasi di dalam Serat Optik	23
2.10 Serat Optik Sebagai Sensor Arus Listrik	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Pembuatan Serat Optik Berstruktur SMS	31
3.2 Pengujian Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan OTDR	32

3.3	Penyusunan Eksperimen Pengaruh Arus Listrik Searah (DC) terhadap Serat Optik Berstruktur SMS	35
3.4	Pengujian Sensor Serat Optik Berstruktur SMS terhadap Arus Listrik Searah (DC)	36
3.5	Pengambilan Data Dengan Variasi Arus Listrik DC 0-17 A	36
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Hasil Uji Kestabilan OTDR	41
4.2	Hasil Uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan OTDR	43
4.3	Hasil Perbandingan Sumber Cahaya dengan λ 1310 dan Sumber Cahaya dengan λ 1550 nm	45
4.4	Hasil Uji Pengaruh <i>Fiber Polarization Controller</i> (FPC) terhadap Sensor Serat Optik Berstruktur SMS	46
4.5	Hasil uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan <i>Optical Laser Source (OLS)</i> dan <i>Optical Power Meter (OPM)</i>	48
4.6	Hasil Uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS terhadap Arus Listrik DC	49
4.7	Hasil Uji Presisi Serat Optik Berstruktur SMS dengan <i>Multimode</i> sepanjang 141,9 mm	52
4.8	Analisis Karakteristik Statis Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan <i>Multimode</i> sepanjang 141,9 mm	54
4.9	Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan <i>Multimode</i> sepanjang 141,9 mm Sebagai Alat Ukur Arus Listrik	56
BAB V	PENUTUP	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57

DAFTAR PUSTAKA

59

LAMPIRAN A (Data Hasil Experimen)

LAMPIRAN B (Spesifikasi Alat)

LAMPIRAN C (*Setup* Eksperimen)

LAMPIRAN D (Prosedur Menggunakan OTDR)

LAMPIRAN E (Biodata Penulis)

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sensitivitas Pengukuran	8
Gambar 2.2	Skema Efek Faraday	10
Gambar 2.3	Grafik Konstanta Verdet terhadap Panjang Gelombang	10
Gambar 2.4	Skema Struktur Serat Optik	11
Gambar 2.5	Profil Index Bias Serat Optik dengan Nilai P yang Beragam	12
Gambar 2.6	Struktur Geometri Serat Optik <i>Singlemode</i> dan Serat Optik <i>Multimode</i>	12
Gambar 2.7	Skema Serat Optik Berstruktur SMS	14
Gambar 2.8	Skema Pandu Gelombang <i>Multimode</i> pada Serat Optik Berstruktur SMS .	16
Gambar 2.9	Profil Medan <i>Self Imaging</i> Pada Pandu Gelombang <i>Multimode Step-Index</i>	17
Gambar 2.10	Pengaturan Polarisasi Menggunakan <i>Wave Plate</i>	17
Gambar 2.11	Skema Pengaturan Polarisasi Cahaya yang Merambat di dalam Serat Optik	18
Gambar 2.12	Ilustrasi Pengukuran Serat Optik Menggunakan OTDR	20
Gambar 2.13	<i>Rayleigh Scattering</i>	21
Gambar 2.14	<i>Reflection</i>	21
Gambar 2.15	<i>Mode Field Diameter</i>	21
Gambar 2.16	<i>Fresnel Peak</i>	22
Gambar 2.17	Skema Perancangan Sensor Temperatur Bebas Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan OTDR	22
Gambar 2.18	Deteksi Serat Optik Berstruktur SMS oleh OTDR	23
Gambar 2.19	Attenuasi Serat Optik <i>Singlemode</i>	24
Gambar 2.20	Attenuasi Serat Optik <i>Multimode</i>	24
Gambar 2.21	Skema <i>current transformer</i> (CT) dan Serat Optik	25

Gambar 2.22	Skema OCT Menggunakan Bahan Ferromagnetik	26
Gambar 2.23	Skema OCT Menggunakan Serat Optik yang Dililitkan pada Konduktor	26
Gambar 2.24	Skema Rekayasa Strukur Geometri Serat Optik	27
Gambar 2.25	Serat Optik Berstruktur SMS yang Dilapisi <i>Ferrofluid</i>	27
Gambar 2.26	Skema OCT Menggunakan Serat Optik dan Polarizer	28
Gambar 3.1	Alur Pengerjaan Tugas Akhir	29
Gambar 3.2	Skema Serat Optik Berstruktur SMS	32
Gambar 3.3	Pengaturan <i>Test Setup</i> OTDR	33
Gambar 3.4	Serat Optik <i>Multimode step-index</i> sebagai rugi daya pada OTDR	34
Gambar 3.5	<i>Setup</i> eksperimen	35
Gambar 4.1	Hasil Tampilan Pengujian Kestabilan OTDR	41
Gambar 4.2	Uji Kestabilan OTDR	42
Gambar 4.3	Hasil deteksi sensor serat optik SMS dengan OTDR pada <i>Pulsewidth</i> 5 ns	43
Gambar 4.4	Hasil deteksi sensor serat optik SMS dengan OTDR pada <i>Pulsewidth</i> 20 ns	44
Gambar 4.5	Hasil deteksi sensor serat optik SMS dengan OTDR pada <i>Pulsewidth</i> 50 ns	44
Gambar 4.6	Perbandingan Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik SMS 142.5 mm Menggunakan Sumber Cahaya dengan λ 1310 nm dan λ 1550 nm	45
Gambar 4.7	Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik SMS 142.5 mm pada λ 1550 nm	42
Gambar 4.8	Susunan Eksperimen Tanpa Menggunakan <i>Fiber Polarization Controller</i>	47

Gambar 4.9	Susunan Eksperimen Menggunakan <i>Optical Laser Source</i> dan <i>Optical Power Meter</i> .	48
Gambar 4.10	Uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS 142.5 mm Menggunakan OLS dan OPM	49
Gambar 4.11	Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik SMS 141.9 mm	50
Gambar 4.12	Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik SMS 142.3 mm	50
Gambar 4.13	Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik SMS 142.5 mm	51
Gambar 4.14	Uji Presisi Sensor Serat Optik Berstruktur SMS 141,9 mm	53
Gambar 4.15	Grafik Perubahan Rugi Daya terhadap Arus Listrik DC pada Sensor Serat Optik Berstruktur SMS 141,9 mm yang Memiliki Linieritas Terbaik	54
Gambar 4.16	Sensor Serat Optik Berstruktur SMS Sebagai Alat Ukur	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil Uji Pengaruh <i>Fiber Polarization Controller</i> (FPC) terhadap Sensor Arus Listrik Berbasis Serat Optik Berstruktur SMS	47
Tabel 4.2	Hasil Uji Presisi Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan Panjang 141,9 mm	52
Tabel 4.3	Karakteristik Statik Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan <i>multimode</i> sepanjang 141,9 mm	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengukuran arus listrik merupakan hal mendasar dan penting untuk mengatur dan mengawasi seluruh perangkat industri, contohnya adalah sistem tenaga listrik yang dimiliki oleh suatu industri (Kurosawa, 2014). Dengan berkembangnya teknologi sistem tenaga listrik, diperlukan perhatian pada elemen proteksi dan elemen pengukuran. Sehingga diperlukan teknologi pengukuran baru yang memiliki akurasi dan tingkat keamanan yang tinggi (Alavi, 2015). Metode konvensional yang digunakan untuk pengukuran arus listrik di bidang industri menggunakan *current transformer* (CT) (Alavi, 2015).

Current transformer (CT) merupakan perangkat pengukuran arus listrik yang memanfaatkan Hukum Faraday tentang induksi, untuk mengukur arus listrik yang mengalir pada konduktor (Zieger, 2009). Susunan dari *current transformer* terdiri atas dua bagian, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang berfungsi untuk konversi tegangan dan arus listrik (Alavi, 2014). Terdapat beberapa kekurangan alat ukur konvensional ini, yaitu *current transformer* berukuran besar dan berat, proses instalasi sulit pada konduktor tegangan tinggi, hasil pengukuran dipengaruhi oleh gangguan induksi elektromagnetik, dan sulit untuk mengukur arus listrik besar (Kurosawa, 2014). Di samping itu, telah dikembangkan metode pengukuran arus listrik berbasis optik yang dikenal dengan *optical current transformer* (OCT) (Alavi, 2015). Teknologi OCT mampu menggantikan teknologi sebelumnya yaitu *current transformer* (CT) karena memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki akurasi tinggi, ringan, proses instalasi mudah, dan tidak ada saturasi (Alavi, 2015). Pada tahun 2010, telah dilakukan perbandingan antara OCT dan CT secara experimental oleh Sadik Kucuksari (Kucuksari, 2010). Penelitian tersebut menjelaskan bahwa OCT mampu menggantikan fungsi dari CT pada sistem tenaga listrik, karena OCT memiliki

bandwidth lebar, waktu respon cepat, dan proses pengukuran arus listreik lebih cepat (Kucuksari, 2010)

Pada tahun 1970, mulai dilakukan penelitian tentang *Optical Current Transformer* setelah dilakukan penemuan efek Faraday oleh Michael Faraday pada tahun 1845 (Kurosawa, 2014). Efek Faraday adalah rotasi sudut polarisasi sebaran cahaya yang terpolarisasi linier saat melewati suatu medium dikarenakan pengaruh medan magnet yang melewatinya (Carolina, 2013). Teknologi OCT memanfaatkan serat optik sebagai elemen pengukuran (Alavi, 2015). Pemanfaatan serat optik sebagai elemen pengukuran memiliki beberapa keuntungan yaitu, terhadap interferensi elektromagnet, aman di lingkungan bersifat explosif dan berbahan kimia, sensitivitas tinggi, dan bebannya yang ringan (Kersey,1988).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa konfigurasi *optical current transformer* (Alavi, 2015). Konfigurasi pertama, bagian *output current transformer* dihubungkan dengan serat optik, sehingga terjadi konvesi sinyal elektrik menjadi sinyal optik (Alavi, 2015). Pada metode tersebut *current transformer* masih digunakan, sehingga masih menjadi kekurangan pada metode ini. Konfigurasi Kedua, serat optik dililitkan mengelilingi konduktor. Proses melilitkan serat optik pada konduktor bertujuan mendapatkan pengaruh medan magnet dan mendapatkan nilai sensitivitas yang tinggi (Alavi, 2015). Konfigurasi Ketiga, meletakkan elemen pengukuran berdekatan dengan konduktor. Elemen pengukuran tersebut terhubung dengan serat optik, sehingga metode ini tidak perlu melilitkan seluruh serat optik pada konduktor. Medan magnet yang dihasilkan di sekitar konduktor akan berpengaruh terhadap distribusi cahaya yang melewati elemen pengukuran (Alavi, 2015).

Telah dilakukan beberapa penelitian menggunakan OCT dengan konfigurasi ketiga. Konfigusi serat optik yang digunakan berupa serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode*. Konfigurasi serat optik berstruktur SMS memiliki kemudahan dalam fabrikasi, sensitivitas yang baik, dan dapat diterapkan

sistem interrogasi berbasis intensitas (Pramod, 2003 via Novitasari, 2015). Di dalam serat optik berstruktur SMS terjadi fenomena *multimode interference* (MMI), merupakan fenomena yang terjadi akibat pemantulan cahaya berulang di dalam susunan *core* dan *cladding* pandu gelombang (Sahodo, 2013). Pada tahun 2014, Lin Li, telah melakukan penelitian perancangan sensor arus listrik berbasis serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) dengan penambahan *ferrofluid* pada bagian serat optik *multimode coreless* dengan tujuan meningkatkan sensitivitas terhadap medan magnet. Pada penelitian tersebut, sensor yang telah dibuat memiliki sensitivitas sebesar 2.12 dB/A (Li, Lin, 2014). Pada tahun 2015, Ika Novitasari telah melakukan penelitian pembuatan sensor arus listrik DC berbasis serat optik SMS, dengan jenis *multimode step-index*. Sensor yang telah dibuat memiliki sensitivitas sebesar 0,577 dB/A pada arus listrik DC 7.5 A (Novitasari, 2015).

Optical time domain reflectometer (OTDR) merupakan perangkat yang digunakan untuk diagnosis serat optik meliputi, identifikasi lokasi cacat dan semua atenuasi yang terjadi di sepanjang serat optik (Anritsu, 2011). Selain digunakan untuk mengetahui karakteristik serat optik, OTDR juga telah banyak digunakan sebagai sumber cahaya dan detektor pada perancangan sensor berbasis serat optik. Pada tahun 2015, Arifin telah melakukan penelitian pembuatan sensor *displacement* berbasis serat optik berstruktur SMS dan OTDR. Pada penelitian tersebut, diperoleh sensor serat optik berstruktur SMS yang mampu digunakan untuk pengukuran pergeseran dari 0 - 150 mm dengan resolusi 0.159 mm (Arifin, 2015). Pada tahun 2013, Tegar Bestariyan telah melakukan perancangan sensor suhu berbasis serat optik berstruktur SMS menggunakan OTDR. Pada penelitian tersebut dihasilkan sensor serat optik berstruktur SMS yang mampu digunakan untuk pengukuran suhu pada rentang 40 - 195 °C dengan resolusi sebesar 0,12°C (Hatta, 2013). OTDR juga telah banyak dikembangkan sebagai perangkat utama untuk *quasi-distributed sensor system* atau sensor berbasis serat optik *multipoint*. Konfigurasi pada *Quasi-distributed sensor* adalah

modifikasi bagian serat optik dengan cara dibuat sambungan di beberapa titik untuk menghasilkan variasi *loss*, intensitas *backscatter*, polarisasi, dan intensitas *fluorecence* (Kersey, 1988).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada laporan tugas akhir ini akan dipaparkan mengenai perancangan sensor arus listrik searah (DC) berbasis serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) dan *optical time domain reflectometer* (OTDR).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana merancang sensor arus listrik searah (DC) berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) menggunakan *optical time domain reflectometer* (OTDR).

1.3 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah merancang sensor arus listrik searah (DC) berbasis serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) menggunakan *optical time domain reflectometer* (OTDR).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini antara lain :

- a. Perancangan struktur serat optik SMS menggunakan serat optik *singlemode* (SMF-28, diameter core 8,2 μm) dan serat optik *multimode step index* (AFS 105/125Y).
- b. Menggunakan sumber cahaya dengan λ 1310 nm.
- c. Pengukuran arus 0 hingga 17 A.
- d. Pengaruh peningkatan suhu pada konduktor arus listrik diabaikan.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis melalui pembagian beberapa bab dengan rincian sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan yang digunakan dalam tugas akhir penulis.

BAB II DASAR TEORI

Bab II menjelaskan prinsip dasar, persamaan-persamaan matematis, dan peralatan yang mendukung pengerjaan penelitian ini, antara lain arus listrik searah, efek Faraday, serat optik berstruktur SMS, OTDR, dan pengaruh arus listrik terhadap penyaluran cahaya di dalam serat optik berstruktur SMS

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini merupakan penjelasan langkah langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir. Secara garis besar langkah langkah tersebut meliputi pembuatan sensor serat optik berstruktur SMS, pengujian sensor serat optik berstruktur SMS menggunakan OTDR, dan pengaruh arus listrik searah (DC) terhadap sensor serat optik berstruktur SMS dengan metode OTDR.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdiri dari analisis data hasil pengukuran rugi daya pada sensor serat optik berstruktur SMS terhadap variasi arus listrik searah (DC). Dari data tersebut dilakukan analisis terkait faktor faktor yang mempengaruhi perubahan nilai rugi daya berdasarkan teori yang ada dan eksperimen yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan. Selain itu juga dijelaskan tentang saran yang dapat diberikan penulis untuk pengembangan penelitian yang telah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang teori –teori dasar yang menjadi prinsip alur berfikir dari penyelesaian permasalahan untuk mencapai tujuan penelitian Tugas Akhir.

2.1. Sensor

Sensor merupakan salah satu bagian dari *tranduser* yang berfungsi untuk melakukan penginderaan terhadap adanya perubahan energi eksternal yang masuk pada bagian *input tranduser*, sehingga perubahan energi yang ditangkap oleh sensor akan dikonverikan menjadi energi listrik. (Stoylen). Karakteristik sensor dibagi menjadi dua yaitu karakteristik statik dan dinamik. Karakteristik statik ditentukan oleh sifat sensor yang perubahan responnya tidak berubah terhadap waktu. Beberapa hal yang termasuk karakteristik statik meliputi *Range*, *Span*, Linieritas, Sensitivitas, Resolusi, Akurasi, dan Presisi.

a. *Range*

Range merupakan nilai minimal dan nilai maksimal masukan (I_{min} , I_{max}) dan Keluaran (O_{min} , O_{max}) sensor.

b. *Span*

Span adalah variasi maksimum dari nilai masukan atau *input* dan nilai keluaran atau *output*. *Input span* dinyatakan dengan $I_{max}-I_{min}$ dan *output span* dinyatakan dengan $O_{max}-O_{min}$. (Bentley, 1995).

c. Linieritas

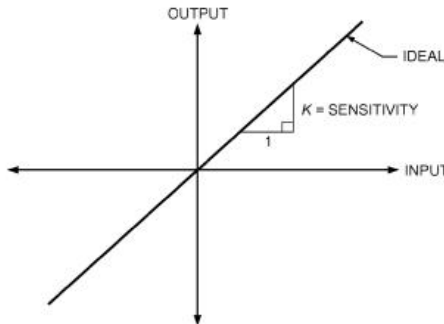
Linieritas merupakan karateristik ideal dari sistem pengukuran. Suatu hasil pengukuran dapat dikatakan linier ketika nilai masukan dan keluaran bersesuaian dalam satu garis , titik minimal A (I_{min} , O_{min}) terhubung pada titik B (I_{max} , O_{max}) (Bentley, 1995).

$$O - O_{min} = \left[\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right] \cdot (I - I_{min}) \quad (2.1)$$

d. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan *slope* dari kurva kalibrasi yang menghubungkan antara sinyal *input* dan sinyal *output* (ASHREA, 2009). Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Linieritas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Apabila responnya linier, maka sensitivitas yang dihasilkan juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan. Sensitivitas merupakan perbandingan antara perubahan *output* dengan perubahan *input* dari suatu sistem pengukuran (Bentley, 1995). Berikut ini adalah persamaan dari sensitivitas.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\text{Output}_{\max} - \text{Output}_{\min}}{\text{Input}_{\max} - \text{Input}_{\min}} \quad (2.2)$$



Gambar 2.1 Sensitivitas Pengukuran (ASHREA, 2009)

e. Resolusi

Resolusi merupakan perubahan terkecil dari nilai *input* yang menghasilkan perubahan yang mampu dideteksi oleh instrumen *output* (ASHRAE, 2009). Selain itu, resolusi juga dapat dinyatakan sebagai kemampuan suatu sensor untuk membedakan nilai terkecil dari pembacaan sensor (Bentley, 1995). Resolusi sensor (*R*) dapat didefinisikan melalui persamaan sebagai berikut:

$$\text{Resolusi} = \frac{\Delta\phi}{\text{sensitivitas}} \quad (2.3)$$

Dimana, $\Delta\phi$ adalah resolusi alat ukur yang digunakan (Bentley, 1995).

f. Presisi

Pengukuran berulang pada kondisi sama yang menghasilkan nilai pengukuran yang sama (ASHREA, 2009). Tingkat Presisi dapat diketahui melalui *Coefficient of Variation* (C_v) = $\frac{\text{Standard Deviasi}}{\text{Nilai rata - rata}} \times 100\%$ (Abdi, H, 2010).

g. Akurasi

Akurasi merupakan kemampuan sebuah alat ukur untuk menunjukkan kebenaran suatu nilai yang dihasilkan dari pengukuran kuantitatif (ASHREA, 2009)

2.2. Efek Faraday

Efek Faraday adalah efek magnetooptik yang menyebabkan cahaya dengan polarisasi linier mengalami rotasi sudut polarisasi. Peristiwa tersebut terjadi karena cahaya dengan polarisasi linier melewati medium yang menghasilkan medan magnet. Besarnya sudut polarisasi tergantung pada jumlah cahaya yang melewati medium medan magnet, kuat medan magnet, dan Konstanta Verdet (Thomas, 2003).

Konstanta Verdet adalah konstanta proporsional atau perbandingan antara sudut rotasi polarisasi cahaya ϕ dan panjang medium d dan medan magnet B (Thomas, 2003). Berikut ini adalah persamaan dari efek Faraday;

$$\phi = B \cdot d \cdot V \quad (2.4)$$

dimana;

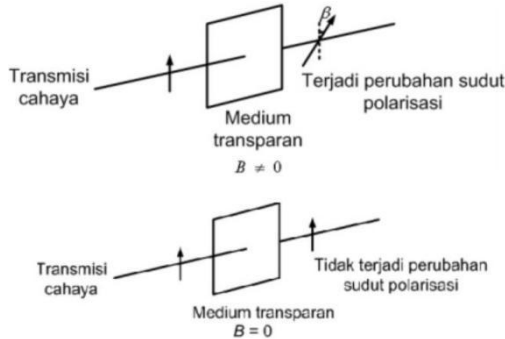
ϕ = Sudut rotasi polarisasi (rad)

V = Konstanta Verdet (A.T/rad)

B = Medan magnet (m)

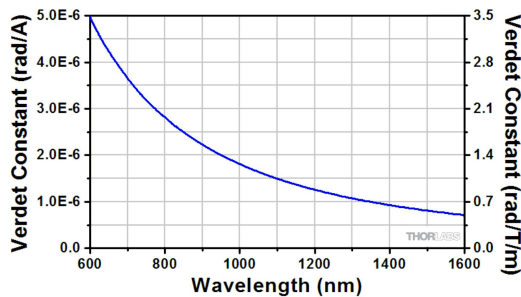
d = Panjang medium yang terinduksi medan magnet (m)

Skema efek Faraday dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema Efek Faraday (Respati,2007)

Berdasarkan skema di atas, dijelaskan bahwa apabila ada sebuah sinar yang datang mengenai bahan transparan yang tidak bersifat optis aktif dan tidak ada medan magnet luar maka tidak akan terjadi perubahan, arah getar cahaya yang masuk ke medium transparan akan sama dengan yang keluar dari medium transparan. Akan tetapi jika medium transparan itu diberi medan magnet luar maka akan terjadi perubahan sudut polarisasi (Respati, 2007). Berikut ini adalah grafik hubungan antara konstanta Verdet terhadap panjang gelombang.



Gambar 2.3 Grafik Konstanta Verdet terhadap Panjang Gelombang (Thorlab, 2014)

Pada grafik di atas terlihat hubungan konstanta Verdet dan panjang gelombang saling berkebalikan. Untuk dihasilkan nilai konstanta Verdet yang besar maka diperlukan panjang gelombang yang lebih pendek.

2.3. Medan Magnet Pada Konduktor

Arus listrik yang mengalir melalui konduktor, akan menghasilkan medan magnet di sekitarnya, yang memiliki nilai berbanding lurus dengan besar arus listrik yang mengalir di sepanjang kawat tersebut. Hubungan arus listrik dan medan magnet dikenal dengan *Ampere's Circuital Law*. Berikut ini adalah persamaan hubungan medan magnet dengan arus listrik. (Caroline, 2013)

$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad (2.6)$$

dimana ;

B = Medan Magnet (T)

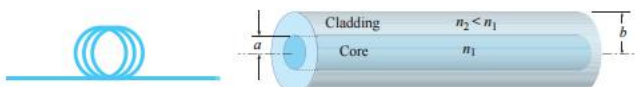
μ_0 = Permeabilitas magnetik di ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A}$)

I = Arus Listrik (A)

a = Jarak antara penghantar arus listrik dengan titik ukur (m)

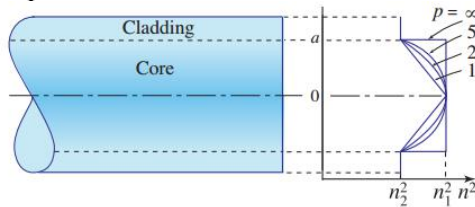
2.4. Serat Optik Step Index

Serat Optik adalah pemandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang terbuat dari bahan dielektrik yang memiliki *loss* rendah, seperti silika. Secara umum, serat optik terdiri dari dua bagian yaitu *core* sebagai pemandu gelombang cahaya, dan *cladding* sebagai lapisan terluar dengan nilai indeks bias lebih rendah daripada *core* (Kao, 2009). Skema struktur serat optik dapat dilihat pada gambar 2.4



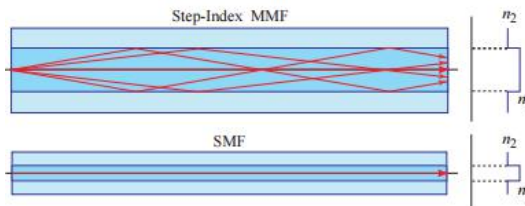
Gambar 2.4 Skema Struktur Serat Optik (Kao,2009)

Transmisi cahaya di dalam serat optik bergantung pada profil index bias serat optik yang dinyatakan dengan simbol p . Serat optik jenis *step index* mempunyai profil index bias tak terhingga ($p = \infty$), sehingga $n^2 r$ merupakan fungsi *step* yang didasarkan pada hukum Snellius. Hal ini juga dipengaruhi oleh nilai index bias *core* yang seragam dan lebih besar dari pada nilai index bias *cladding* di dalam serat optik (Kao, 2009). Berikut ini adalah profil index bias serat optik;



Gambar 2.5 Profil Index Bias Serat Optik dengan Nilai P yang Beragam (Kao, 2009)

Berdasarkan penjalaran moda, serat optik *step index* terbagi menjadi dua yaitu serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode*. Penjalaran moda di dalam serat optik dipengaruhi oleh ukuran diameter *core* serat optik (Kao, 2009). Skema penjalaran moda serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode* dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.6 Struktur Geometri Serat Optik *Singlemode* dan Serat Optik *Multimode* (Kao, 2009)

Ukuran diameter *core* serat optik *singlemode step index* sebesar 8-10 μm , sedangkan untuk diameter *core* serat optik *multimode step index* sebesar 50-100 μm . Perbedaan nilai index bias *core* dan *cladding* sangat kecil, sehingga perubahan index

bias yang terjadi sangat kecil (Kao, 2009). Persamaan perubahan index bias pada *core* dan *cladding* sebagai berikut (Kao,2009);

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \ll 1 \quad (2.7)$$

Umumnya, serat optik terbuat dari bahan kaca silika murni (SiO_2). Perbedaan index bias antara *core* dan *cladding* disebabkan adanya perbedaan *doping material* (seperti, titanium, germanium, dan boron) (Kao, 2009).

Pada peristiwa propagasi gelombang cahaya di dalam serat optik *step index*, akan muncul parameter v atau disebut dengan *v-number*, merupakan parameter penentu jumlah moda dan konstanta perambatan cahaya di dalam serat optik. Persamaan matematis parameter V , dapat dilakukan dengan pendekatan persamaan berikut (Kao,2009).

$$v = \sqrt{(NA)^2 K_0^2 a^2} = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA \quad (2.8)$$

Serat optik *singlemode step index* memiliki nilai parameter $v < 2.405$, di mana hanya terbentuk moda fundamental LP_{01} di dalam penjalaran cahaya, sehingga semua moda terpadu ke dalam bagian *core* serat optik. Sedangkan , dalam menentukan jumlah moda yang dirambatkan di dalam serat optik *step index* dapat dilakukan dengan pendekatan sebagai berikut (Kao, 2009).

$$M \approx \frac{4}{\pi^2} v^2 \approx \frac{4}{\pi^2} (NA)^2 k_o a^2 \quad (2.9)$$

Sedangkan persamaan matematis konstanta perambatan cahaya di setiap moda pada serat optik *step index* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut (Kao,2009)

$$\beta_{l,m} \approx n_1 k_o \sqrt{1 - 2 \frac{(l+2m)^2}{M} \Delta} \approx n_1 k_o \left[1 - \frac{(l+2m)^2}{M} \Delta \right] \quad (2.10)$$

di mana;

$NA = \text{Numerical Apperture}$

$k_o = \text{Vektor gelombang pada daerah vakum } (\frac{2\pi}{\lambda})$

$a = \text{jari - jari core}$

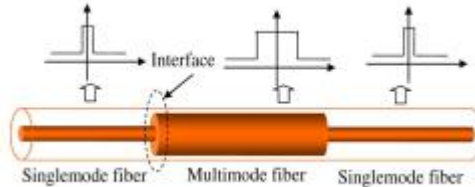
$M = \text{Jumlah moda di dalam serat optik}$

$\beta_{l,m} = \text{Konstanta perambatan cahaya di dalam serat optik}$

$m = \text{Bilangan integer}$

2.5. Serat Optik Berstruktur SMS

Serat optik berstruktur SMS merupakan serat optik yang terdiri dari dua serat optik *singlemode* identik yang disambung secara aksial pada kedua ujung serat optik *multimode* (Kumar, 2003). Berikut ini adalah gambar dari struktur serat optik berstruktur SMS.



Gambar 2.7 Skema Serat Optik Berstruktur SMS (Qian Wang, 2003)

Berdasarkan gambar tersebut sambungan antar serat optik perlu tersambung secara aksial, agar menghindari adanya eksitasi moda dengan orde lebih tinggi pada daerah sambunagn masih (*lead-in*) antara serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode*. Karena ukuran diameter *core* serat optik *multimode* jauh lebih besar daripada serat optik *singlemode*, maka hanya moda-moda *fundamental* dengan orde lebih rendah yang dapat dibangkitkan LP_{01} dan dipandu di dalam serat optik (Hatta, 2009).

Fenomena pandu gelombang di dalam serat optik berstruktur SMS ini dapat dijelaskan melalui *modal propagation analysis* (MPA). Pandu input cahaya *multimode* ($z=0$)

diasumsikan mempunyai distribusi diasumsikan mempunyai distribusi medan $\psi(r,0)$ yang sebanding dengan moda *fundamental* pada *singlemode* dengan moda dasar yang terpandu adalah LPom. Sedangkan profil medan d dalam *multimode* diasumsikan sebagai $\psi_M(r)$. (Kumar, 2003). Sehingga rumus matematis profil medan sebagai berikut

$$\int_0^{\infty} |\psi(r,0)|^2 = \int_0^{\infty} |\psi_M(r)|^2 r dr \quad (2.11)$$

$$\psi(r,0) = \sum_{m=0}^{m=\infty} A_M \psi_M(r) \quad (2.12)$$

dimana A_M merupakan koefisien eksitasi setiap moda atau disebut dengan amplitudo penjalaran cahaya pada setiap moda yang dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut (Kumar, 2003)

$$A_M = \frac{\int_0^{\infty} \psi(r,0) \cdot \psi_M(r) \cdot r dr}{\int_0^{\infty} |\psi_M(r)|^2 r dr} \quad (2.13)$$

Sehingga profil distribusi medan gelombang cahaya di dalam *multimode* pada jarak tertentu ($Z=L$) adalah sebagai berikut (Kumar, 2003).

$$\psi(r,L) = \sum_{m=0}^{m=\infty} A_M \psi_M(r) \exp(-j\beta_m L) \quad (2.14)$$

di mana;

$\psi(r,L)$ = profil distribusi medan ($Z=L$)

A_M = Koefisien eksitasi setiap moda

$\psi_M(r)$ = profil distribusi medan multimode

J = Bilangan Imajiner

β_m = Konstanta propagasi ke - m

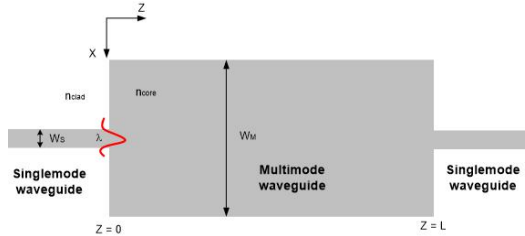
L = panjang serat optik multimode

Daya *output* sambungan *lead out* dapat ditulis sebagai berikut (Tripathi, 2009)

$$P_{output} = 10 \log 1 A_1^2 + A_2^2 e^{i(\beta_1 - \beta_2)L} + \dots 1^2 \text{ (dBm)} \quad (2.15)$$

2.6. Efek *Multimode Interference*

Multimode Interference (MMI) merupakan fenomena yang terjadi akibat pemantulan cahaya berulang di dalam susunan *core* dan *cladding* pandu gelombang (Sahodo, 2013). Pemantulan berulang dalam *core* menyebabkan interferensi internal di dalam *multimode* sehingga terjadi perubahan pola cahaya yang keluar dari *core* secara periodik. Interferensi yang terjadi dapat berupa interferensi konstruktif dan interferensi destruktif, yang tergantung pada beberapa parameter, yaitu profil index bias, jari-jari *core*, radius, dan panjang gelombang yang digunakan. Proses interferensi konstruktif terjadi secara periodik, peristiwa ini disebut dengan *self imaging*. Fenomena ini dapat dijelaskan menggunakan *modal propagation analysis* (MPA) (Hatta, 2009). Berikut ini adalah skema pandu gelombang *multimode* pada serat optik berstruktur SMS.

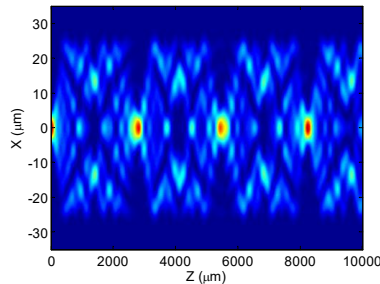


Gambar 2.8 Skema Pandu Gelombang *Multimode* pada Serat Optik Berstruktur SMS (Hatta,2009)

Pada profil medan input ($z=0$), moda yang berasal dari serat optik *singlemode* tereksitasi menjadi distribusi moda yang mungkin terpandu ke dalam pandu gelombang serat optik *multimode*. Sedangkan profil medan ($z=L$), akan menghasilkan *self imaging* sebanyak n kali dengan jarak tertentu secara periodik(jarak *reimaging*) (Hatta, 2009). Jarak *self imaging* ditentukan oleh konstanta propagasi antar moda yang berdekatan (β_m dan β_{m+1}) , dinyatakan sebagai berikut (Morshed, 2010)

$$L_i = 10x \frac{\pi}{(\beta_m - \beta_{m+1})} \quad (2.16)$$

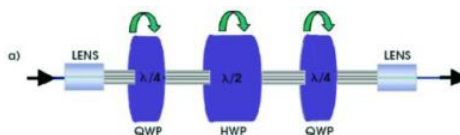
Berikut ini adalah gambar profil medan *self imaging* pada pandu gelombang *multimode step-index* (Hatta, 2009)



Gambar 2.9 Profil Medan *Self Imaging* Pada Pandu Gelombang *Multimode Step-Index* (Hatta, 2009)

2.7. Fiber Polarization Controller

Sinar cahaya dapat diilustrasikan terdiri dari dua komponen medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus yang memiliki variasi amplitudo dan frekuensi. Polarisasi cahaya terjadi ketika kedua komponen tersebut mengalami perbedaan fase atau amplitudo (Jeong, 2006). Di dalam serat optik yang memiliki bentuk penampang melingkar, setiap moda memiliki dua bagian polarisasi dengan nilai konstanta propagasi yang sama. Moda Fundamental LP_{01} di dalam serat optik *singlemode* mengalami polarisasi pada sumbu x maupun sumbu y yang saling tegak lurus (Kao, 2009). Pengaturan polarisasi cahaya yang merambat di dalam serat optik memiliki metode sama ketika pengaturan polarisasi cahaya yang merambat di udara menggunakan *wave plate*. *Wave plate* tersebut berfungsi untuk mengubah fase pada kedua bagian polarisasi yang tegak lurus (Jeong, 2006). Skema pengaturan polarisasi menggunakan *wave plate* dapat dilihat pada gambar 2.10

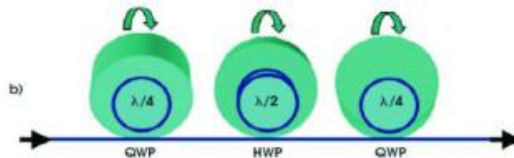


Gambar 2.10 Pengaturan Polarisasi Menggunakan *Wave Plate* (Jeong, 2006)

Pada gambar 2.10, terdapat tiga *wave plate* yaitu dua *quarter wave plate* dan *half wave plate* yang berada di antara *half wave plate*. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing *wave plate* tersebut (Kao, 2009);

- *Quarter Wave Plate (QWP)* pertama berfungsi untuk mengubah keadaan input cahaya (*non-linear polarization*) menjadi polarisasi linier.
- *Half Wave Plate (HWP)* berfungsi untuk memutar arah polarisasi linier ke sudut yang diinginkan.
- *Quarter Wave Plate (QWP)* kedua berfungsi untuk mengubah polarisasi linier menjadi bentuk polarisasi yang lain.

Metode pengaturan polarisasi cahaya yang merambat pada udara menggunakan *wave plate* tersebut, juga digunakan untuk pengaturan polarisasi cahaya yang merambat di dalam serat optik, dengan cara melilitkan serat optik pada tiga kumparan yang berfungsi sebagai *quarter waveplate* dan *half waveplate*. Skema pengaturan polarisasi cahaya yang merambat di dalam serat optik terdapat pada gambar 2.12.



Gambar 2.11 Skema Pengaturan Polarisasi Cahaya yang Merambat di dalam Serat Optik (Jeong, 2006)

Pada gambar 2.12, serat optik dililitkan pada kumparan atau *coil* untuk menghasilkan tekanan pada serat optik, tekanan tersebut akan menghasilkan *birefringence* atau bias ganda yang sebanding dengan kuadrat dari diameter kumparan (Jeong, 2006). Jumlah bias ganda yang dihasilkan dipengaruhi oleh diameter *cladding*, diameter kumparan, jumlah lilitan serat optik pada kumparan, dan panjang gelombang cahaya yang merambat di dalam serat optik (Thorlabs, 2015).

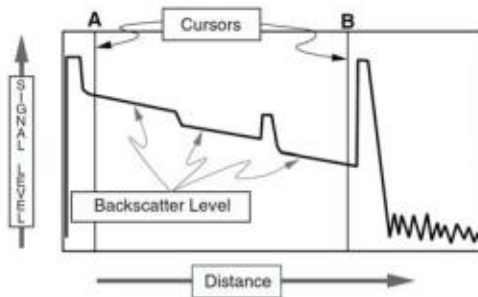
2.8. *Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)*

Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) merupakan instrumen optoelektronik yang digunakan untuk mengkarakterisasi suatu serat optik berdasarkan domain waktu (Anritsu, 2011). OTDR mampu mengetahui letak cacat pada serat optik baik dan menentukan jumlah *signal loss* disepanjang titik pada serat optik, seperti *splice loss* dan *loss* saat proses instalasi (Anritsu, 2011). Berikut ini adalah beberapa kegunaan OTDR dalam dunia telekomunikasi (Anritsu, 2011).

- Mengukur jumlah rugi daya total atau *total fiber loss* pada serat optik yang digunakan untuk sistem telekomunikasi.
- Mengukur *splice loss* atau rugi daya yang diakibatkan oleh proses penyabungan serat optik saat proses instalasi maupun konstruksi.
- Menentukan letak kerusakan serat optik yang disebabkan karena gangguan instalasi dan proses penyambungan.
- Mengetahui penurunan kualitas serat optik dengan cara membandingkan hasil pengukuran setelah proses instalasi dengan data awal serat optik sebelum dilakukan instalasi.

Cara kerja OTDR memanfaatkan efek dari *Rayleigh scattering* dan *Fresnel reflection* untuk mengukur karakteristik serat optik. *Rayleigh scattering* terjadi ketika cahaya yang menjalar di dalam serat optik menumbuk partikel mikroskopik (*dopants*). *Rayleigh scattering* terjadi di sepanjang serat optik dikarenakan persebaran *dopants* yang tidak menentu di sepanjang serat optik (Anritsu, 2011). Sementara *Fresnel reflection* terjadi akibat cahaya melewati dua medium yang memiliki perbedaan densitas, contohnya saat cahaya menjalar di dalam serat optik dan udara. *Fresnel reflection* terjadi pada ujung serat optik, titik sambungan atau *splice point*, dan kerusakan serat optik atau *fiber break*. OTDR bekerja secara *indirect* dalam mengukur *loss*, karena dalam satu perangkat OTDR terdapat sumber cahaya berupa *high power laser* dan detektor dengan sensitivitas tinggi. Gelombang cahaya yang telah dibangkitkan akan menjalar di

sepanjang serat optik dan diukur lama waktu penjarannya (*time domain*) dan besarnya daya cahaya pantul (*backscattered light* dan *reflected light*) akan dideteksi oleh detektor OTDR yang akan dihasilkan data pengukuran berupa grafik panjang serat optik (m) terhadap daya cahaya pantul (dB). (Anritsu, 2011). Ilustrasi hasil pengukuran serat optik menggunakan OTDR terdapat pada gambar 2.12.

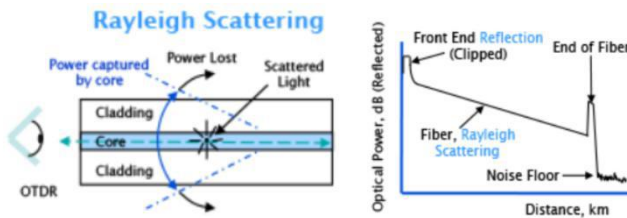


Gambar 2.12 Ilustrasi Pengukuran Serat Optik Menggunakan OTDR

Dalam penggunaan OTDR terdapat beberapa parameter yang perlu diketahui, yaitu *range*, *resolusi*, *pulsewidth*, *averaging*, *index of refraction*, dan *backscattering coefficient* (Anritsu, 2011). Penjelasan parameter tersebut dijelaskan pada bab III. Ketika cahaya menjalar melalui serat optik *singlemode*, akan terjadi 4 jenis cahaya pantul yang akan dideteksi oleh detektor OTDR (Corning, 2015). Berikut ini penjelasan dari jenis cahaya pantul tersebut.

a) ***Rayleigh Scattering***

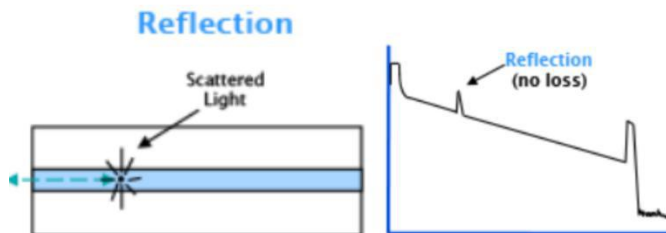
Pemantulan cahaya yang merambat di dalam serat optik karena adanya molekul non homogen di dalam serat optik (Corning, 2015). Gambar *Rayleigh Scattering* terdapat pada gambar 2.13



Gambar 2.13 *Rayleigh Scattering* (Corning, 2015)

b) Reflection

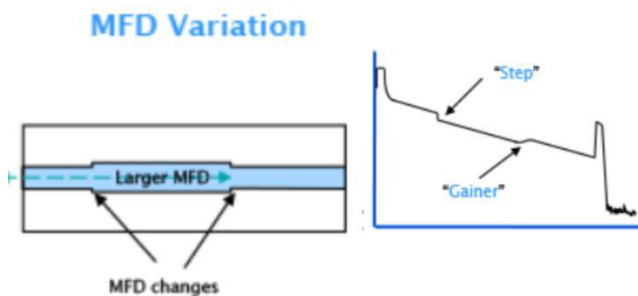
Pemantulan cahaya dikarenakan adanya perubahan indeks bias di dalam serat optik (Corning, 2015). Gambar *Reflection* terdapat pada gambar 2.14



Gambar 2.14 *Reflection* (Corning, 2015)

c) Mode Diameter Field (MFD)

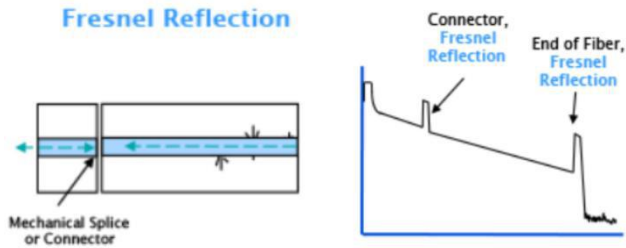
Pemantulan cahaya disebabkan karena perubahan diameter *core* pada serat optik (Corning, 2015). Gambar *MFD* terdapat pada gambar 2.15



Gambar 2.15 *Mode Field Diameter* (Corning, 2015)

d) **Fresnel Peak**

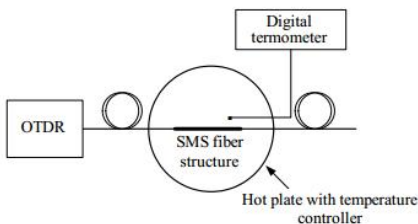
Permantulan cahaya terjadi karena perubahan massa jenis bahan, biasanya terjadi pada konektor serat optik dan ujung serat optik (Corning, 2015). Gambar *Fresnel Peak* terdapat pada gambar 2.16



Gambar 2.16 *Fresnel Peak* (Corning, 2015)

Dalam perancangan sensor berbasis serat optik, OTDR telah banyak digunakan sebagai elemen perancangan sensor tersebut, contohnya sebagai sensor suhu, sensor pergeseran, dan sensor cairan hidrokarbon. Berikut ini adalah salah satu penjelasan singkat dari perancangan sensor berbasis serat optik menggunakan OTDR.

Pada tahun 2013, Tegar Bestariyan telah melakukan perancangan sensor temperatur berbasis serat optik berstruktur SMS menggunakan OTDR. Berikut ini adalah skema dari penelitian tersebut.



Gambar 2.17 Skema Perancangan Sensor Temperatur Berbasis Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan OTDR(Hatta, 2013)

Pada skema di atas, serat optik berstruktur SMS dilektakkan pada pemanas (*hot plate*) yang mampu diatur temperaturnya. Pengaruh

temperatur tersebut akan menyebabkan rugi daya atau *event loss* yang akan dideteksi oleh OTDR. (Hatta, 2013) . Hasil deteksi serat optik berstruktur SMS oleh OTDR terdapat pada gambar 2.18



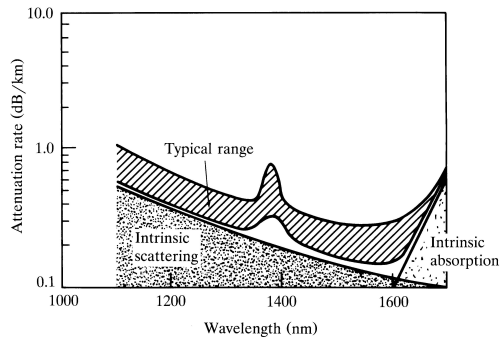
Gambar 2.18 Deteksi Serat Optik Berstruktur SMS oleh OTDR
(Hatta, 2013)

Pada gambar tersebut terlihat penurunan daya sinar pantul yang terdeteksi oleh OTDR terletak pada serat optik berstruktur SMS. Besar nilai penurunan daya tersebut akan semakin meningkat sesuai dengan temperatur yang diukur. Berdasarkan penelitian tersebut dihasilkan dihasilkan sensor serat optik berstruktur SMS yang mampu digunakan untuk pengukuran suhu pada rentang 40 - 195 °C dengan resolusi sebesar 0,12°C (Hatta, 2013).

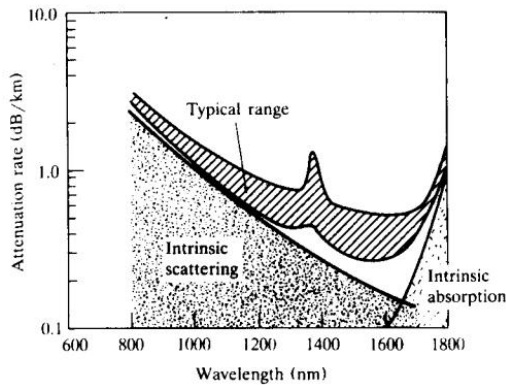
2.9. Hubungan Panjang Gelombang terhadap Laju Attenuasi di dalam Serat Optik

Pada gambar 2.19 dapat diketahui bahwa semakin panjang nilai panjang gelombang, maka jumlah *intrinsic scattering* yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena adanya korelasi nilai attenuasi terhadap panjang gelombang sesuai dengan persamaan (2.17) (Kesier, 1991).

$$\alpha = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} (\partial n^2)^2 \partial V \quad (2.17)$$



Gambar 2.19. Attenuasi Serat Optik *Singlemode* (Keiser, 1991)



Gambar 2.20 Attenuasi Serat Optik *Multimode* (Keiser, 1991)

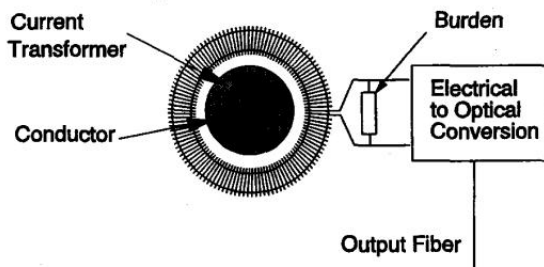
Pada gambar 2.20 menunjukkan nilai attenuasi serat optik *multimode*. Terlihat nilai attenuasi pada serat optik *multimode* dikarenakan *intrinsic scattering* lebih besar dari pada nilai attenuasi serat optik *singlemode* pada gambar 2.19 Hal tersebut disebabkan karena konsentrasi *dopant* pada bahan silika serat optik *multimode* lebih besar daripada serat optik *singlemode*. Selain itu, banyaknya jumlah moda yang terdapat pada serat optik *multimode* juga menjadi pengaruh besarnya nilai attenuasi karena menyebabkan gangguan pada permukaan antara *core* dan *cladding* serat optik *multimode* (Keiser, 1991).

2.10. Serat Optik Sebagai Sensor Arus Listrik

Serat optik sebagai sensor arus listrik dikenal dengan *Optical Current Transformer* (OCT) (FIBERCORE, 2014). Teknologi OCT mampu menggantikan cara pengukuran arus listrik konvensional *Current Transformer* karena memiliki akurasi tinggi, massa ringan, mudah pemasangan, dan tidak ada saturasi (Alavi, 2015). OCT memanfaatkan efek Faraday yang terjadi pada cahaya yang menjalar di dalam serat optik terhadap medan magnet yang dilalui (Alavi, 2015). Terdapat empat konfigurasi serat optik sebagai sensor arus listrik (Alavi, 2015) yaitu :

a. *Current Transformer* (CT) yang Dihubungkan dengan Serat Optik.

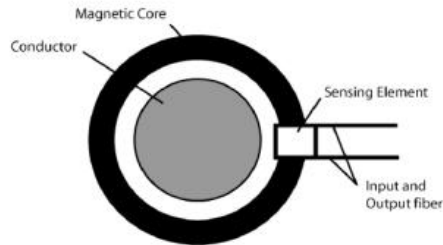
Serat optik dihubungkan pada CT yang berfungsi sebagai *output* data transmisi. Terjadi konversi sinyal elektrik yang dihasilkan CT menjadi sinyal optik agar mampu ditransmisikan pada serat optik. Kelebihan konfigurasi ini adalah *current transformer* menjadi lebih aman karena dihubungkannya serat optik dengan *output CT* mampu meminimalisasi adanya ledakan CT (Alavi, 2015). Berikut adalah skema dari CT dan serat optik



Gambar 2.21 Skema *Current Transformer* (CT) dan Serat Optik (Alavi, 2015)

b. Serat Optik Dihubungkan pada Bahan Ferromagnetik

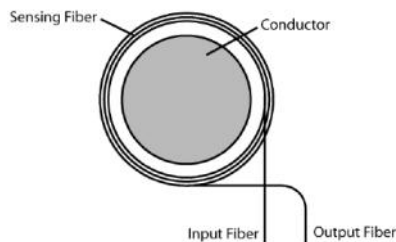
Berikut ini adalah skema dari konfigurasi serat optik yang dihubungkan pada bahan ferromagnetik



Gambar 2.22 Skema OCT Menggunakan Bahan Ferromagnetik (Alavi, 2015)

Pada konfigurasi ini, serat optik didekatkan pada bahan ferromagnetik yang melingkar pada konduktor. Pada gambar 2.20 terlihat terdapat celah udara di antara konduktor dan bahan ferromagnetik. Medan magnet akan dihasilkan pada celah udara tersebut, kemudian akan mempengaruhi nilai *output* dari serat optik sebagai *sensing element* (Alavi, 2015).

c. Serat Optik Dililitkan pada sekitar Konduktor

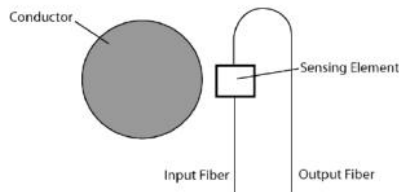


Gambar 2.23 Skema OCT Menggunakan Serat Optik yang Dililitkan pada Konduktor (Alavi, 2015)

Skema yang ditunjukkan pada gambar 2.23 bertujuan untuk menghasilkan sensitivitas yang tinggi karena serat optik yang dililitkan pada konduktor dengan panjang tertentu akan mengalami efek Faraday lebih besar (Alavi, 2015). Sesuai dengan persamaan 2.4 tentang rotasi sudut polarisasi, menjelaskan bahwa semakin panjang medium cahaya yang

terkena medan magnet maka diperoleh rotasi sudut polarisasi yang lebih besar.

d. Rekayasa Struktur Geometri Serat Optik untuk Menghasilkan *Sensing Element* yang Sensitif



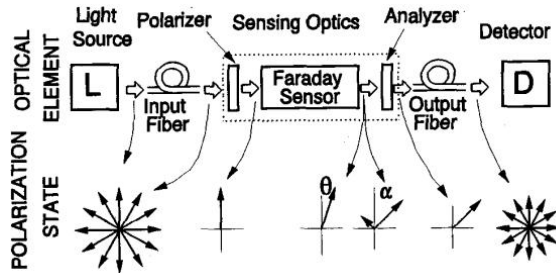
Gambar 2.24 Skema Rekayasa Struktur Geometri Serat Optik (Alavi, 2015)

Pada cara ini, dilakukan rekayasa susunan struktur geometri serat optik sebagai sensor arus listrik. Pada gambar 2.24 terlihat perbedaan dengan konfigurasi lainnya. Konfigurasi ini tidak memerlukan elemen pengukuran yang melingkar pada konduktor (Alavi, 2015). Medan magnet yang dihasilkan oleh konduktor akan mempengaruhi distribusi cahaya (Alavi, 2009). Pada konfigurasi ini juga sudah dilakukan penelitian salah satunya adalah pemanfaatan bahan *ferrofluid* pada serat optik berstruktur *singlemode multimode singlemode*. Skema penelitian tersebut terdapat pada gambar 2.25



Gambar 2.25 Serat Optik Berstruktur SMS yang Dilapisi *Ferrofluid* (Li, 2014)

Skema lengkap *optical current transformer* menggunakan serat optik dan *polarizer* dapat dilihat pada gambar 2.26

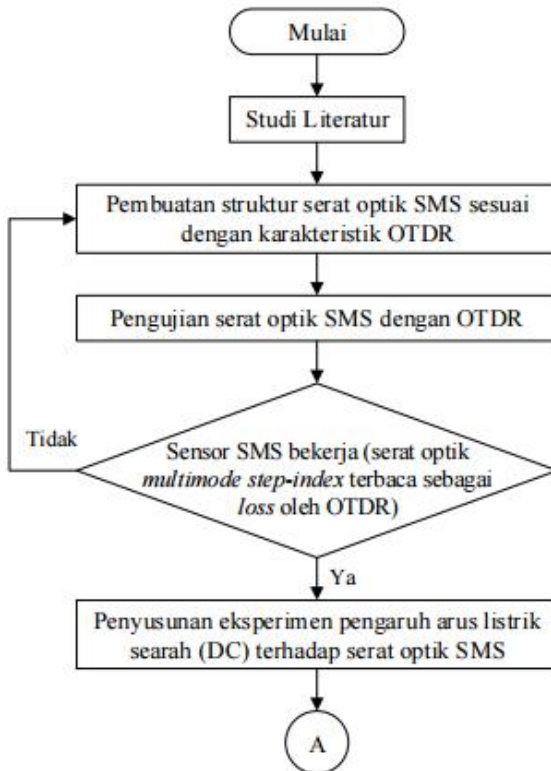


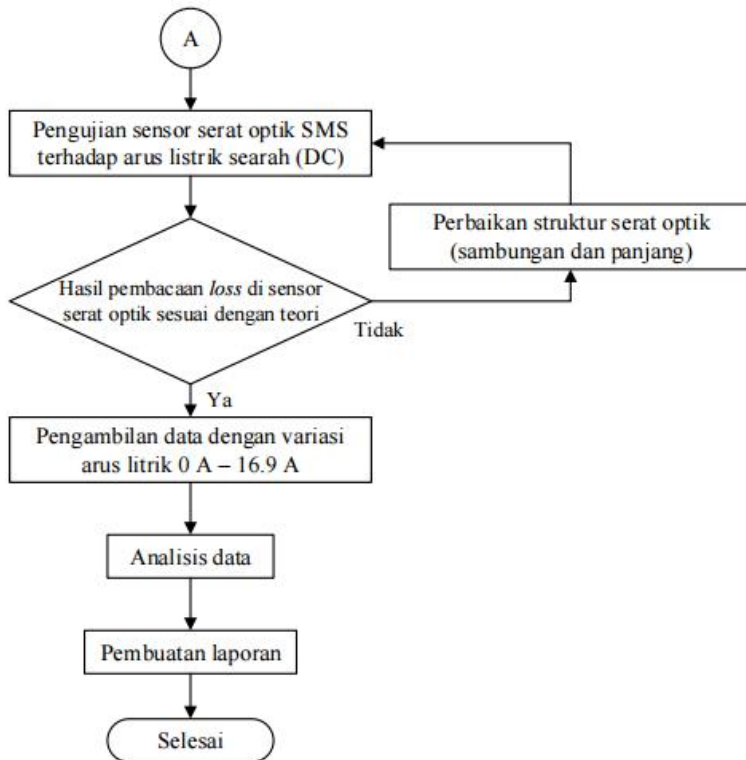
Gambar 2.26 Skema OCT Menggunakan Serat Optik dan *Polarizer* (Alavi, 2015)

Berdasarkan gambar 2.26, cahaya yang dihasilkan oleh *laser source* belum mengalami polarisasi, akan terpolarisasi linier setelah melewati *polarizer*. Cahaya akan mengalami pergeseran sudut polarisasi setelah melewati *sensing optic* yang didekatkan pada konduktor, Perubahan sudut polarisasi tersebut menyebabkan daya cahaya yang dideteksi oleh detektor mengalami perubahan (Alavi, 2015).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan beberapa tahapan yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan dari tugas akhir ini. Tahapan dalam pengerjaan tugas akhir terdapat dalam diagram alir di bawah ini.





Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Tugas Akhir

Pengerjaan tugas akhir ini diawali dengan studi literatur. Studi literatur merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mempelajari prinsip dasar sensor serat optik berstruktur SMS terhadap pengaruh arus listrik searah (DC) dengan metode OTDR. Literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal penelitian ilmiah, dan laporan tugas akhir yang membahas tentang prinsip dasar sensor serat optik berstruktur SMS, efek Faraday, OTDR, dan pengaruh medan magnet terhadap daya cahaya pantul (*Rayleigh scattering* dan *Frensel Reflection*)

3.1. Pembuatan Serat Optik Berstruktur SMS

Pada tahap ini, dijelaskan tahapan pembuatan serat optik berstruktur SMS yang sesuai dengan karakteristik OTDR. Maksud dari karakteristik OTDR adalah parameter parameter yang digunakan dalam penggunaan OTDR, hal ini akan dijelaskan pada sub bab berikutnya. Berikut ini adalah penjelasan alur pembuatan sensor serat optik berstruktur SMS.

3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pembuatan serat optik berstruktur SMS di antaranya meliputi ;

- Serat Optik *Singlemode* Corning SMF 28-e
- Serat Optik *Multimode Step Index* Thorlabs
- *Fusion Splicer* ZIC Sumitomo Electric
- *Fiber Cleaver* Sumitomo Electric
- *Fiber Stripper* Sumitomo Electric
- Alkohol 70%
- Kapas/Tisu
- Jangka Sorong
- Penggaris

3.3.2. Penyambungan Serat Optik Berstruktur SMS


Berikut ini dijelaskan tentang prosedur proses penyambungan serat optik berstruktur SMS sesuai dengan alat dan bahan yang telah tersedia.

- a. Dilakukan pembuatan ukuran panjang serat optik *multimode step index* yang akan dipotong menggunakan jangka sorong pada selembar kertas.
- b. Dilakukan pemotongan serat optik *multimode step-index* menggunakan *fiber stripper* sesuai dengan ukuran yang telah dibuat.
- c. Dilakukan pengupasan lapisan *coating* pada seluruh bagian serat optik *multimode step-index* yang telah dipotong.
- d. Serat optik *multimode step-index* yang telah terkelupas *cladding* nya dibersihkan menggunakan tisu yang telah

- diberi larutan alkohol. Kemudian panjang serat optik tersebut diukur ulang menggunakan jangka sorong.
- e. Kedua ujung serat optik *multimode step-index* dipotong menggunakan *fiber cleaver* ± 9 mm.
 - f. Dilakukan pengupasan *coating* pada serat optik *singlemode* pada masing masing ujungnya sepanjang ± 20 mm dan dibersihkan menggunakan tisu & alkohol. Kemudian ujung tersebut dipotong menggunakan *fiber cleaver*.
 - g. Dilakukan penyambungan serat optik *multimode step-index* pada kedua ujungnya pada serat optik *singlemode* menggunakan *fiber fusion splicer*.

Berikut ini adalah skema hasil pembuatan serat optik berstruktur SMS.

serat optik *singlemode* serat optik *multimode step-index* serat optik *singlemode*

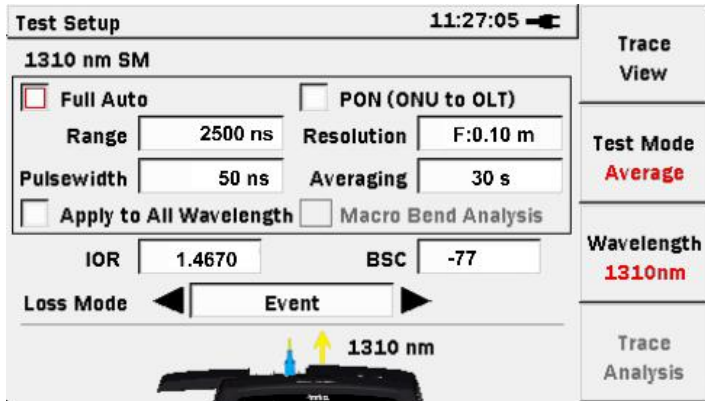


Gambar 3.2 Skema Serat Optik Berstruktur SMS

Pada tahap pembuatan sensor ini, serat optik *multimode step-index* disambungkan diantara 2 gulungan serat optik *singlemode* dengan panjang minimal 500 m agar serat optik *multimode step-index* dapat dideteksi oleh OTDR sebagai rugi daya.

3.2. Pengujian Serat Optik SMS dengan OTDR

Pengujian serat optik berstruktur SMS dengan OTDR bertujuan untuk mengetahui serat optik berstruktur SMS dapat dideteksi dengan baik sebagai rugi daya oleh OTDR sesuai dengan parameter-parameter pengukuran yang ada dalam OTDR. Berikut ini adalah penjelasan parameter-parameter pengukuran tersebut.

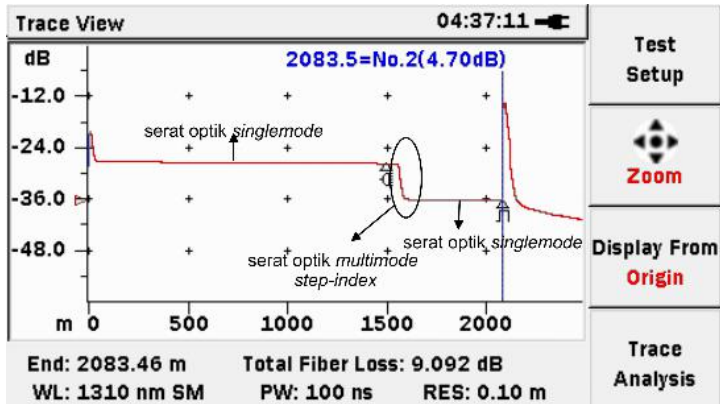


Gambar 3.3 Pengaturan Test Setup OTDR

- **Range** : Merupakan perkiraan rentang panjang serat optik yang diukur atau dideteksi oleh OTDR . Satuan dari *range* adalah meter. Pemilihan *range* sebaiknya 25% lebih panjang dari serat optik yang akan diukur. Pemilihan *range* berpengaruh pada tingkat akurasi waktu yang diperlukan untuk pengukuran (Anritsu, 2011).
- **Resolution** : Merupakan jarak minimal antara dua titik *sampling* yang dilakukan oleh OTDR serta dinyatakan dalam satuan meter. Nilai resolusi yang tinggi akan menjadikan jarak antara dua titik *sampling* semakin pendek (Anritsu, 2011)
- **Pulsewidth** : Merupakan lama durasi pulsa laser inframerah yang dinyatakan dengan satuan ns. Semakin lama *pulsewidth* maka semakin besar daya cahaya pantul yang akan dideteksi oleh detektor OTDR (Anritsu, 2011).
- **Averaging** : Merupakan durasi OTDR dalam setiap pengukuran serat optik, yang dinyatakan dalam s.
- **Index Of Reflection (IOR)** : Merupakan rasio kecepatan cahaya pada ruang hampa terhadap kecepatan cahaya pada serat optik. IOR serat optik silika sekitar 1.5. Pada OTDR IOR dipilih dengan menyesuaikan jenis serat optik yang digunakan (Anritsu, 2011)

- *Backscatter Coefficient* (BSC) : Merupakan rasio daya *backscattered light* terhadap daya cahaya ditransmisikan melalui serat optik. Pemilihan BSC pada OTDR menyesuaikan dengan jenis serat optik yang digunakan dan panjang gelombang dari sumber cahaya yang digunakan (Anritsu, 2011).

Dalam proses eksperimen yang dilakukan, diharapkan serat optik berstruktur SMS akan terdeteksi sebagai *event loss* atau rugi daya setelah cahaya melewati serat optik tersebut. Berikut ini adalah contoh pembacaan OTDR terhadap serat optik berstruktur SMS.



Gambar 3.4 Serat Optik *Multimode step-index* sebagai rugi daya pada OTDR

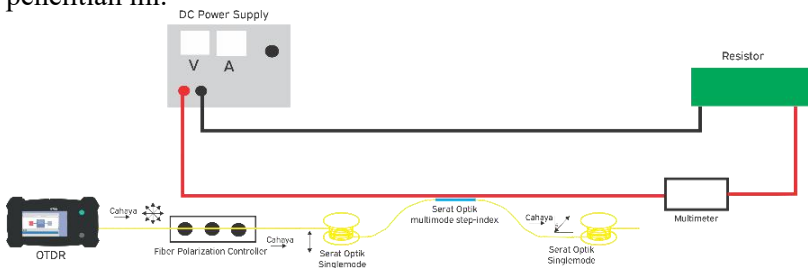
Terjadinya rugi daya pada serat optik berstruktur SMS disebabkan karena konsentrasi *dopant* serat optik *multimode* lebih besar dari pada konsentrasi *dopant* serat optik *singlemode*. Selain itu, banyaknya jumlah moda pada serat optik *multimode* juga menjadi pengaruh besarnya rugi daya (Keiser, 1991). Ketika hasil nilai rugi daya sangat besar, perlu dilakukan pembuatan ulang serat optik berstruktur SMS dengan memperbaiki sambungannya.

3.3. Penyusunan Eksperimen Pengaruh Arus Listrik Searah (DC) terhadap Serat Optik SMS

Dalam penyusunan eksperimen pengaruh arus listrik searah (DC) terhadap serat optik SMS diperlukan peralatan sebagai berikut;

- DC Power Supply Trafo (16 Ampere)
- *Load/ Resistor*
- Multimeter
- OTDR Antitsu MU909015C μ OTDR
- *Fiber Polarized Controller* Thorlabs FPC 030
- Serat Optik *Singlemode* Corning SMF 28-e
- Serat Optik *Multimode Step Index* Thorlabs

Berikut merupakan *setup* penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 3.5 *Setup* Eksperimen

Dalam *setup* eksperimen tersebut, *optical time domain reflectometer* (OTDR) berfungsi sebagai sumber cahaya berupa laser dioda sekaligus sebagai detektor. Sumber cahaya yang digunakan adalah cahaya inframerah 1310 nm , karena pada panjang gelombang tersebut dihasilkan nilai konstanta Verdet lebih besar dari pada sumber cahaya 1550 nm. Sehingga, diharapkan mampu, menghasilkan pergeseran sudut polarisasi yang lebih besar sesuai dengan persamaan 2.4

Berdasarkan penjelasan gambar ., maka akan digunakan panjang gelombang 1310 pada penelitian ini, karena besar daya *backscattered light* yang akan dideteksi oleh detektor OTDR

lebih besar dari pada panjang gelombang 1550. Berikut ini adalah penjelasan cara kerja OTDR yang digunakan dalam eksperimen.

Detektor OTDR akan mendeteksi sinyal *backscatter* dan cahaya pantul yang ada di sepanjang serat optik sehingga akan diketahui nilai total cahaya pantul (*backscattered light* dan cahaya pantul). *Fiber polarization controller* berfungsi untuk menjadikan cahaya inframerah yang dihasilkan oleh OTDR menjadi terpolarisasi linier. Hal tersebut tujuan agar cahaya yang telah terpolarisasi mengalami efek Faraday saat cahaya tersebut melewati serat optik berstruktur SMS yang ditempelkan pada kawat penghantar arus listrik searah. Multimeter digunakan untuk memvalidasi besar arus listrik searah (DC) yang mengalir pada kawat penghantar.

3.4. Pengujian Sensor Serat Optik Berstruktur SMS terhadap Arus Listrik Searah (DC)

Dalam pengujian sensor serat optik berstruktur SMS terhadap arus listrik DC (searah), sensor yang telah dibuat diuji dengan arus listrik searah yang terbesar yaitu 17 A. Hasil pembacaan rugi daya saat adanya arus listrik kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan rugi daya saat tidak dialiri arus listrik. Ketika selisih antara keduanya sangat kecil, maka sensor serat optik berstruktur SMS yang telah dibuat kurang sensitif dan perlu dibuat ulang dengan variasi panjang berbeda dan proses penyambungan serat optik yang baik.

3.5. Pengambilan Data dengan Variasi Arus Listrik DC 0 A-17 A

Setelah dilakukan pengujian sensor serat optik berstruktur SMS, maka dipilih 3 sensor serat optik berstruktur SMS yang cukup sensitif untuk dilakukan pengambilan data, dengan menguji sensor tersebut dengan arus listrik searah 0 A-17 A. Berikut ini adalah penjelasan urutan langkah-langkah pengujian yang dilakukan.

a) Uji Kestabilan OTDR

Uji Kestabilan OTDR dilakukan untuk mengetahui resolusi pengukuran dari OTDR yang digunakan. Pengujian dilakukan hanya menggunakan serat optik *singlemode* yang dilakukan sebanyak 100 kali. Hasil yang diperoleh adalah nilai rata-rata *total fiber loss* dan nilai resolusi pengukuran.

b) Uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan OTDR

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan agar serat optik berstruktur SMS dapat dideteksi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan nilai nilai parameter OTDR yang sesuai dengan serat optik yang digunakan.

c) Uji Perbandingan Sumber Cahaya dengan λ 1310 nm dan Sumber Cahaya dengan λ 1550 nm.

Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa penggunaan sumber cahaya dengan λ 1310 nm lebih baik dari pada sumber cahaya dengan λ 1550 nm sebagai bagian dari perancangan sensor arus listrik berbasis serat optik SMS.

d) Uji Pengaruh hasil *Fiber Polarization Controller* (FPC) terhadap Sensor Arus Listrik Berbasis Serat Optik Berstruktur SMS

Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa FPC mampu menjadikan cahaya inframerah yang merambat di dalam serat optik terpolarisasi linier. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil perubahan rugi daya ketika susunan eksperimen tidak menggunakan FPC terhadap hasil perubahan rugi daya ketika susunan eksperimen menggunakan FPC.

e) Uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan *Optical Laser Source* (OLS) dan *Optical Power Meter* (OPM)

Pengujian ini dilakukan untuk mengerahui perubahan daya keluaran atau perubahan daya yang ditransmisikan OLS karena pengaruh medan magnet pada kawat penghantar yang dialiri arus listrik.

f) Uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS terhadap Arus Listrik Searah (DC)

Dilakukan pengujian 3 sensor serat optik berstruktur SMS yang telah dibuat terhadap kenaikan arus listrik DC 0 -17 A menggunakan OTDR sesuai dengan susunan eksperimen yang telah dibuat. Dari hasil yang diperoleh, akan dipilih satu sensor serat optik berstruktur SMS yang memiliki perubahan rugi daya terbesar ketika ada pengaruh arus listrik 0-17A. Kemudian, sensor yang telah dipilih akan dilakukan uji presisi terhadap sensor tersebut.

g) Uji Presisi Sensor Serat Optik Berstruktur SMS

Dilakukan uji presisi terhadap sensor serat optik berstruktur SMS yang telah dipilih dengan cara dilakukan pengukuran perubahan rugi daya berulang sebanyak 4 kali pada setiap arus listrik. Kemudian akan diperoleh nilai rata-rata perubahan rugi daya pada setiap arus listrik, standar deviasi, dan tingkat presisi sensor. Tingkat presisi sensor diperoleh dari persentase standar deviasi dibagi dengan perubahan rugi daya. Selain itu juga dilakukan pembuatan grafik antara arus listrik terhadap perubahan rugi daya berdasarkan data uji presisi yang telah diperoleh. Dari grafik tersebut akan diketahui linieritas yang paling baik pada rentang pengukuran arus listrik tertentu dan akan dijadikan sebagai analisis karakteristik sensor.

h) Analisis Karakteristik Statis Sensor Serat Optik Berstruktur SMS

Setelah ditentukan rentang pengukuran arus listrik yang menghasilkan linieritas terbaik antara arus listrik terhadap perubahan rugi daya, maka dilakukan analisis karakteristik sensor berupa, *range, span*, perhitungan linieritas, dan perhitungan sensitivitas.

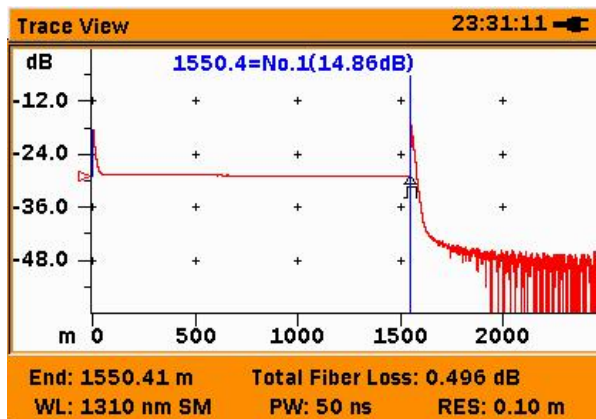
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu menganalisis pengaruh arus listrik terhadap penjalaran cahaya inframerah dalam serat optik SMS. Adapun hasil penelitian yang diperoleh meliputi :

4.1. Hasil Uji Kestabilan OTDR

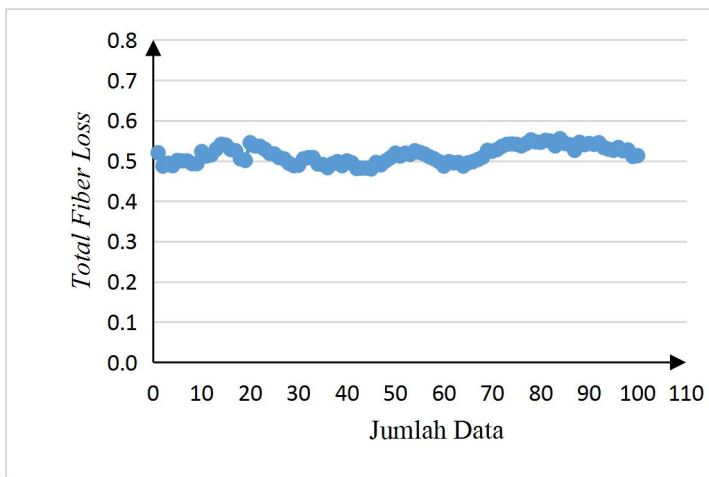
Pengujian kestabilan OTDR dilakukan untuk mengetahui nilai *error* pada OTDR. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran berulang nilai *total fiber loss*. *Total fiber loss* adalah total daya cahaya inframerah 1310 nm yang hilang selama menjalar di dalam serat optik *singlemode*. Pengujian dilakukan sebanyak 100 kali dalam waktu 50 menit. Dari pengujian ini akan diperoleh nilai rata-rata *total fiber loss* dan nilai *error* dari data tersebut. Contoh hasil hasil pembacaan *total fiber loss* menggunakan OTDR pada serat optik dengan panjang 1550 m dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Tampilan Pengujian Kestabilan OTDR

Pada gambar 4.1 dapat diketahui nilai *total fiber loss* sebesar 0.496 dB dan perkiraan panjang serat optik yang diukur yaitu

1550,41 m. nilai 0,496 dB menyakatan jumlah daya cahaya pantul disebabkan oleh efek *Rayleigh scattering* dan pemantulan Frensel. Pada gambar 4.1 terlihat adanya *gain* atau peningkatan jumlah cahaya pantul pada bagian awal dan akhir pembacaan OTDR, hal tersebut dikarenakan adanya pantulan cahaya dikarenakan perbedaan densitas antara udara dan medium di serat optik saat cahaya mulai melewati serat optik dan keluar dari serat optik. Setelah dilakukan pengambilan data secara berulang dengan cara yang sama sebanyak 100 kali, maka diperoleh grafik pada gambar 4.2 yang menunjukkan hubungan *total fiber loss* dan jumlah data.



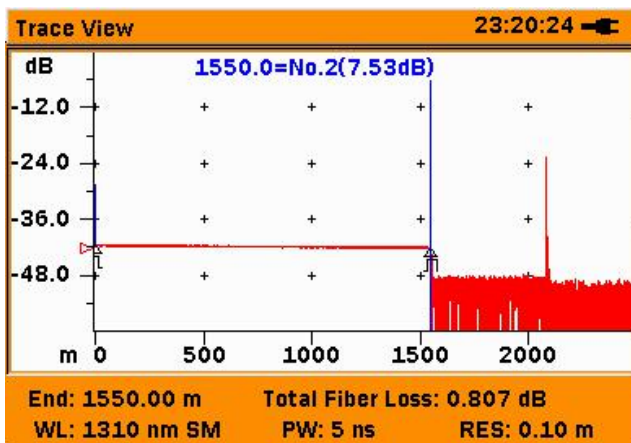
Gambar 4.2 Uji Kestabilan OTDR

Berdasarkan grafik di atas, nilai rata-rata dari rugi daya total serat optik *singlemode* dengan panjang 1550 m sebesar $0,515 \pm 0,021$ dB dan nilai keluaran maksimal - keluaran minimal adalah 0.075 dB sebagai nilai *error* OTDR. Untuk data statistik dapat dilihat pada lampiran A Tabel A 1.1.

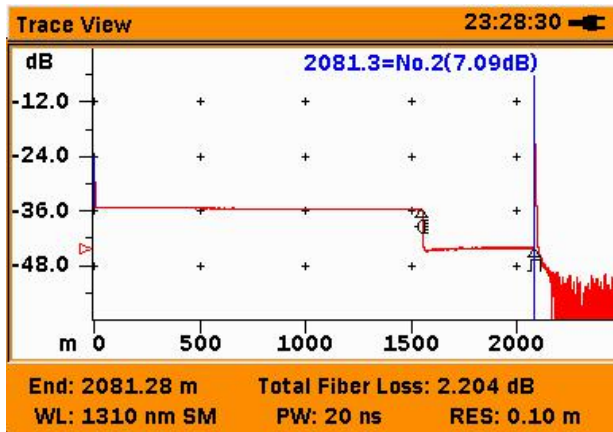
4.2. Hasil Uji Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan OTDR

Pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui pengaturan OTDR yang sesuai agar mampu mendeteksi *event loss* atau rugi daya pada sambungan serat optik berstruktur SMS. Berikut ini adalah nilai- nilai parameter pada OTDR yang sesuai dengan sensor serat optik berstruktur SMS yang telah dibuat;

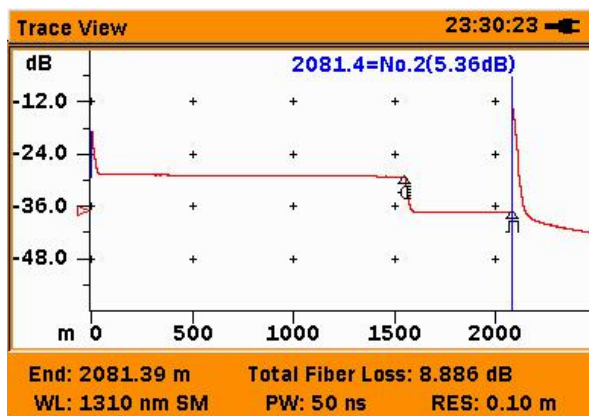
- *Range* : 2500 m, sesuai panjang total serat optik
- *Resolution* : 0,1 m, nilai resolusi terkecil.
- *Averaging* : 30 s, menyesuaikan dengan DC Power Supply
- *OR* : 1.6570, sesuai pada *datasheet* serat optik SMF Corning-28/e untuk panjang gelombang 1310 nm. *Datasheet* terdapat pada lampiran
- *BSC* : -77.00, sesuai pada *datasheet* serat optik SMF Corning-28/e untuk panjang gelombang 1310 nm. *Datasheet* terdapat pada lampiran
- *Pulsewidth* : dilakukan tiga percobaan *pulsewidth* yaitu 5 ns, 20 ns, dan 50 ns .



Gambar 4.3 Hasil Deteksi Serat Optik Berstruktur SMS dengan OTDR pada *Pulsewidth* 5 ns



Gambar 4.4 Hasil Deteksi Serat Optik Berstruktur SMS dengan OTDR pada *Pulsewidth* 20 ns



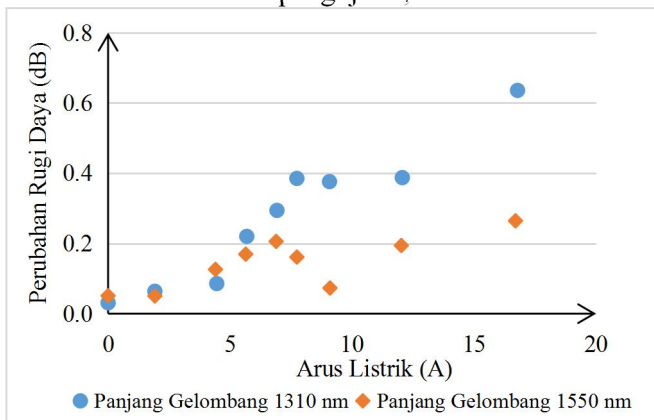
Gambar 4.5 Hasil Deteksi Serat Optik Berstruktur SMS dengan OTDR pada *Pulsewidth* 50 ns

Berdasarkan ketiga percobaan di atas, dapat diketahui bahwa semakin lama *pulsewidth* maka jumlah cahaya pantul yang mampu dideteksi oleh detektor OTDR juga semakin besar. Hal ini karena semakin lama *pulsewidth* maka daya optik yang menjalar ke dalam serat optik juga semakin besar, sehingga mampu dihasilkan daya cahaya pantul yang lebih besar. Maka *pulsewidth*

50 ns pada OTDR yang paling sesuai digunakan untuk deteksi serat optik berstruktur SMS, karena pada *pulsewidth* tersebut dihasilkan pembacaan daya dari cahaya pantul oleh OTDR yang paling besar yaitu ± -30 dB. Selain itu, saat menggunakan *pulsewidth* 50 ns titik *event loss* atau rugi daya pada sensor serat optik berstruktur SMS dapat dideteksi dengan jelas.

4.3. Hasil Perbandingan Sumber Cahaya dengan λ 1310 nm dan Sumber Cahaya dengan λ 1550 nm

Berdasarkan grafik tentang konstanta Verdet terhadap panjang gelombang, telah dijelaskan bahwa semakin panjang λ sumber cahaya, maka semakin besar konstanta Verdet. Konstanta Verdet tersebut menentukan besarnya sudut rotasi polarisasi, sesuai dengan persamaan 2.4. Maka dilakukan perbandingan penggunaan sumber cahaya dengan λ 1310 nm dan sumber cahaya dengan λ 1550 nm untuk pengujian sensor serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142,5 mm terhadap kenaikan arus listrik DC pada rentang 0 -17 A. Berikut ini adalah hasil dari pengujian ;



Gambar 4.6 Perbandingan Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Serat Optik Berstruktur SMS dengan *Multimode* sepanjang 142,5 mm Menggunakan Sumber Cahaya dengan λ 1310 nm dan λ 1550 nm

Pada gambar 4.6, menunjukkan hasil perbandingan pengaruh arus listrik DC terhadap serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142.5 mm menggunakan sumber cahaya dengan λ 1310 nm dan λ 1550 nm. Saat digunakan sumber cahaya dengan λ 1310 nm, terlihat *trend* kenaikan rugi daya mulai terlihat jelas pada saat aliran arus listrik 4 A berubah menjadi 6 A dengan nilai perubahan rugi daya sebesar 0,086 dB menjadi 0,220 dB. Hal ini menunjukkan sensor yang dirancang mulai menunjukkan perubahan rugi daya karena pengaruh arus listrik ketika arus listrik yang mengalir antara 4 - 6 A. Perubahan rugi daya terbesar yaitu 0,636 dB pada arus listrik 17 A. Untuk data statistik dapat dilihat pada lampiran A Tabel A.1.2

Sementara saat digunakan sumber cahaya dengan λ 1550 nm, terlihat *trend* kenaikan perubahan rugi daya pada rentang arus listrik 2-8 A. Setelah arus 8 A terlihat grafik mengalami fluktuasi. Perubahan rugi daya tertinggi ditunjukkan pada arus listrik 17 A yaitu

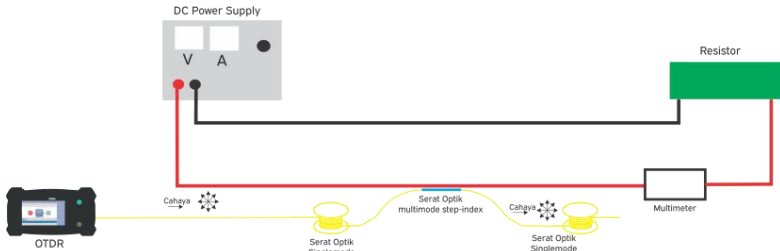
0,264 dB. Berdasarkan gambar 4.6, telah dibuktikan penggunaan sumber cahaya dengan λ 1310 nm lebih baik daripada λ 1550 nm untuk digunakan sebagai sumber cahaya pada sensor arus listrik berbasis serat optik berstruktur SMS.

4.4. Hasil Uji Pengaruh *Fiber Polarization Controller* (FPC) terhadap Sensor Arus Listrik Berbasis Serat Optik Berstruktur SMS

Berdasarkan susunan eksperimen pada gambar 3.5, FPC berfungsi sebagai alat untuk menjadikan cahaya inframerah yang dihasilkan oleh OTDR terpolarisasi linier. Cahaya yang telah terpolarisasi linier tersebut akan mengalami rotasi sudut polarisasi saat melalui serat optik berstruktur SMS yang menempel pada kawat penghantar listrik.

Untuk mengetahui pengaruh FPC pada *susunan* eksperimen yang telah dibuat, maka dilakukan pengujian dengan cara membandingkan hasil rugi daya ketika tanpa menggunakan FPC dan dengan menggunakan FPC pada susunan eksperimen. Berikut

ini adalah skema pengujian tanpa menggunakan FPC serta hasil dari pengujian.



Gambar 4.8 Susunan Eksperimen Tanpa Menggunakan *Fiber Polarization Controller*

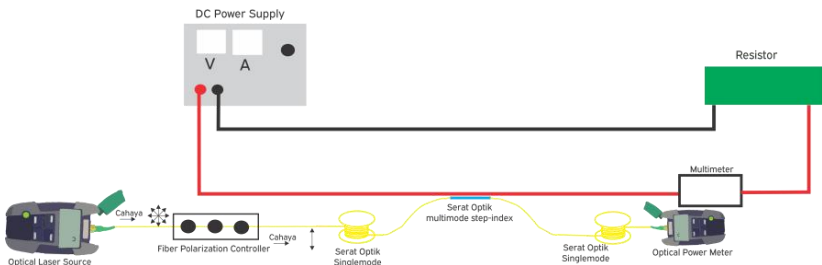
Tabel 4.1 Hasil Uji Pengaruh *Fiber Polarization Controller* (FPC) terhadap Sensor Arus Listrik Berbasis Serat Optik Berstruktur SMS dengan *Multimode* sepanjang 141,9 mm

	Rugi Daya Tanpa FPC (dB)	Rugi Daya dengan FPC (dB)
0 A	12.751	11.125
17 A	12.695	8.672
Selisih	0.056	2.453

Berdasarkan hasil tabel di atas, ketika *susunan* tidak menggunakan *fiber polarization controller*, terlihat selisih rugi daya ketika dalam aliran listrik 17 A dan tanpa ada aliran listrik sebesar 0.056 dB. Sehingga dapat dikatakan tidak terjadi rotasi Faraday karena cahaya tidak terpolarisasi linier. Rugi daya sebesar 0.056 juga bisa dianggap sebagai nilai *error* dari OTDR, sesuai dengan hasil pengujian kestabilan OTDR pada gambar 4.1 yang menghasilkan nilai *error* sebesar 0.075. Sementara ketika dalam *susunan* eksperimen menggunakan *fiber polarization controller* terlihat selisih daya sebesar 2.453 dB. Hal tersebut menunjukkan terjadinya rotasi Faraday karena cahaya inframerah telah terpolarisasi linier oleh *fiber polarization controller* sesuai dengan prinsip kerja yang telah di jelaskan pada bagian dasar teori tentang *fiber polarization controller*.

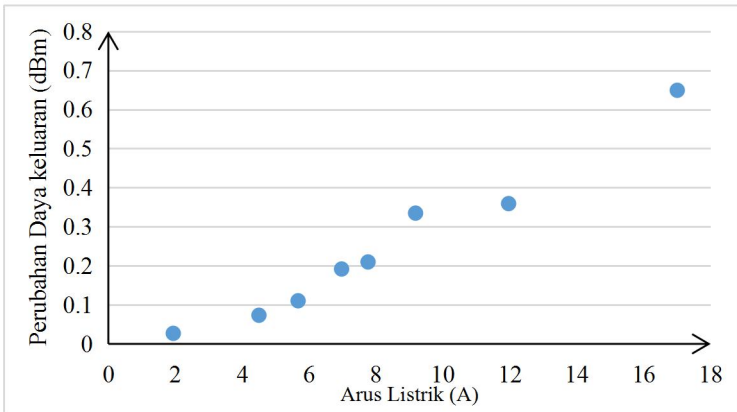
4.5. Hasil Uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS Menggunakan *Optical Laser Source* (OLS) dan *Optical Power Meter* (OPM)

Sensor serat optik berstruktur SMS diuji menggunakan OLS dengan λ 1310 nm dan OPM sebagai detektor. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai daya keluaran (dBm) daya OLS yang terbaca oleh OPM dikarenakan pengaruh arus listrik yang mengalir di kawat penghantar. Proses pengujian menggunakan sensor serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142.5 nm. Pengambilan data dilakukan dengan cara pengukuran perubahan daya keluaran OLS pada kawat penghantar dialiri arus listrik antara 0 -17 A. waktu yang digunakan untuk pengambilan data pada setiap arus selama 30 s, yang disamakan dengan lama waktu proses *sampling* pada OTDR. Sehingga, dapat dibandingkan hasil perubahan daya keluaran sebagai daya transmisi yang terbaca oleh OPM dan perubahan rugi daya sebagai daya cahaya pantul yang terbaca oleh OTDR. Berikut ini adalah susunan eksperimen menggunakan OPM dan OLS



Gambar 4.9 Susunan Eksperimen Menggunakan *Optical Laser Source* dan *Optical Power Meter*.

Setelah dilakukan pengujian, diperoleh hasil pengujian pada gambar 4.10.



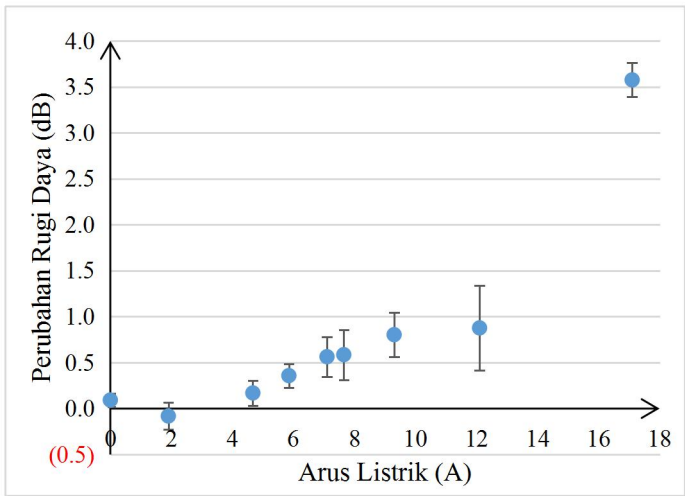
Gambar 4.10 Uji Sensor Serat Optik Berstruktur SMS 142.5 mm Menggunakan OLS dan OPM

Pada gambar 4.10 menunjukkan grafik perubahan daya keluaran terhadap arus listrik dengan menggunakan serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142,5 mm. Dari grafik tersebut terlihat, perubahan daya yang ditransmisikan OLS menuju OPM mengalami *trend* naik terhadap kenaikan arus listrik. Perubahan daya keluaran mulai terlihat mengalami kenaikan pada rentang arus listrik 4 - 17 A. Diperoleh perubahan daya keluaran terbesar pada arus listrik 17 A yaitu 0,649 dBm. Berdasarkan gambar 4.6 dan 4.10 dapat diketahui bahwa cahaya yang ditransmisikan maupun yang terpantul sama- sama mengalami perubahan daya dikarenakan pengaruh medan magnet pada konduktor yang dilewati.

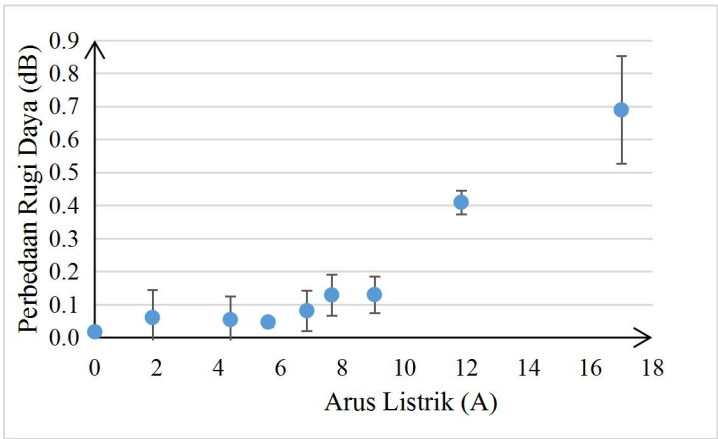
4.6. Hasil Uji Serat Optik Berstruktur SMS terhadap Arus Listrik Searah (DC)

Telah dilakukan pembuatan sensor menggunakan serat optik berstruktur SMS dengan panjang serat optik *multimode step-index* dengan tiga variasi panjang *multimode*, yaitu 141,9 mm, 142,5 mm, dan 142,3 mm. Telah dilakukan pengujian terhadap ketiga sensor tersebut menggunakan arus listrik DC antara 0 A s.d. 17 A. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, akan dipilih sensor serat optik berstruktur SMS yang memiliki perubahan rugi

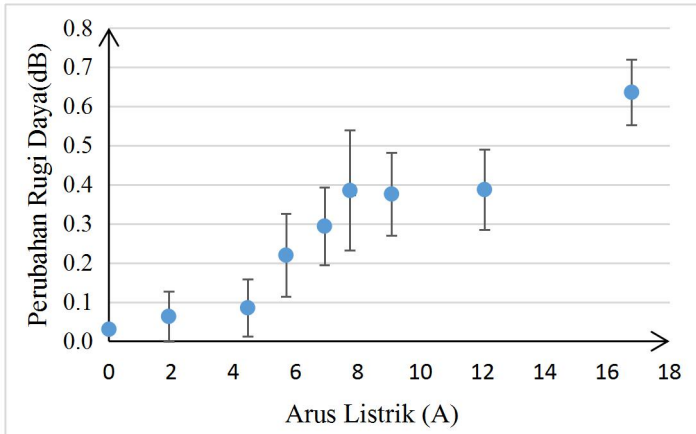
daya paling besar ketika diberi pengaruh arus listrik 0 -17 A. Berikut ini adalah hasil pengujian ketiga sensor tersebut terhadap arus listrik DC;



Gambar 4.11 Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Serat Optik Berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm



Gambar 4. 12 Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Serat Optik Berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142,3 mm



Gambar 4.13 Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Serat Optik Berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142,5 mm

Berdasarkan gambar 4.11, 4.12, dan 4.13, terlihat *trend* naik antara perubahan rugi daya terhadap kenaikan arus listrik. Berdasarkan hasil pengujian terhadap ketiga sensor yang telah dirancang, perubahan rugi daya mengalami kenaikan mulai pada rentang arus listrik 4-6 A. Dari ketiga sensor tersebut, serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm memiliki hasil terbaik, karena mampu menghasilkan perubahan rugi daya paling besar yaitu 3.575 dB dengan standar deviasi 0.184. Sementara serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142,3 mm menghasilkan perubahan daya maksimal sebesar 0.689 dB dengan standard deviasi 0,163 dan serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142.5 mm menghasilkan perubahan daya maksimal sebesar 0.636 dB dengan standard deviasi 0,084. Nilai standar deviasi menunjukkan kestabilan data yang direkam yang dipengaruhi oleh nilai *error* pada OTDR dan stabilitas arus listrik yang mengalir. Pada penelitian ini, telah dibuktikan bahwa teori efek Faraday telah terjadi. Berdasarkan persamaan 2.4, sudut rotasi polarisasi akan semakin besar ketika besar medan magnet meningkat. Dari hasil tersebut, serat optik berstruktur SMS dengan *multimode*

sepanjang 141,9 mm dipilih sebagai sensor arus listrik DC yang paling baik karena dihasilkan perubahan rugi daya terbesar pada arus listrik 17 A. Data statistik dapat dilihat pada lampiran A Tabel A.1.5, Tabel A.1.6, dan Tabel A.1.7

4.7. Hasil Uji Presisi Serat Optik Berstruktur SMS dengan *Multimode* sepanjang 141,9 mm Sebagai Sensor Arus Listrik DC

Telah dilakukan uji presisi serat optik berstruktur SMS dengan panjang 141,9 mm terhadap pengaruh kenaikan arus listrik 0-17 A. Uji presisi dilakukan dengan cara pengukuran berulang sebanyak empat kali pada setiap arus listrik 0-17 A. Berikut adalah tabel hasil pengukuran dan grafik perubahan rugi daya terhadap arus listrik dari sensor serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm.

Tabel 4.2. Hasil Uji Presisi Serat Optik Berstruktur SMS dengan *Multimode* sepanjang 141,9 mm Sebagai Sensor Arus Listrik DC

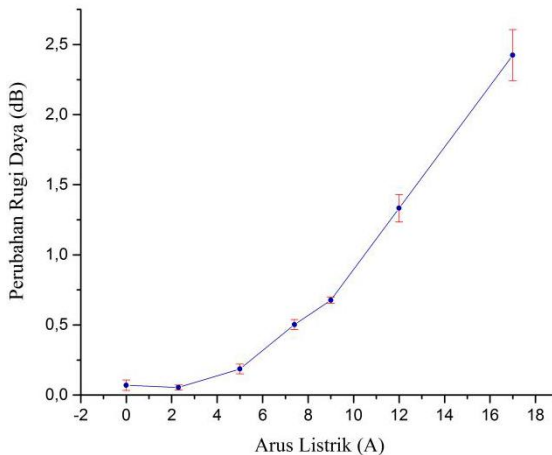
Arus Listrik (A)	Perubahan Rugi Daya (dB)	Std. Deviasi	Tingkat Presisi (Cv) (%)
0	0,070	0,37	52,5%
2,3	0,054	0,018	33,9 %
5	0,186	0,035	18,9 %
7,4	0,503	0,036	7,1 %
9	0,676	0,021	3,2 %
12	1,333	0,098	7,4 %
17	2,425	0,182	7,5 %

Berdasarkan tabel 4.2, serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm menghasilkan perubahan rugi daya terbesar yaitu 2,425 dB dengan standar deviasi 0,182. Nilai perubahan rugi daya pada saat arus listrik 2,3 A sebesar 0,054 dB masih termasuk dalam *range* perubahan rugi daya akibat *error* dari OTDR dengan nilai 0,075 dB. Sehingga, dapat diketahui bahwa perubahan rugi daya yang dipengaruhi arus listrik terjadi mulai arus listrik 5 A yaitu sebesar 0,186 A. Untuk mengetahui

tingkat presisi sensor serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm dilakukan dengan perhitungan

$$\text{Coefficient of Variation (Cv)} \text{ yaitu } \frac{\text{Standard Deviasi}}{\text{Nilai rata - rata}} \times 100\%$$

Semakin tinggi nilai tingkat presisi, maka hasil perhitungan RSD yang dihasilkan semakin rendah. Pada tabel 4.2 kolom 4 telah tertera hasil perhitungan tingkat presisi dari sensor yang telah dirancang. Dapat terlihat semakin besar arus listrik, maka nilai Cv yang dihasilkan semakin rendah, sehingga dapat dikatakan sensor serat optik berstruktur SMS memiliki nilai tingkat presisi yang cukup baik pada arus listrik yang lebih tinggi dari 5 A. Pada arus listrik 0 dan 2.3 A, nilai tingkat presisi sensor sangat rendah yaitu 52.5% dan 33.9%. Hal tersebut dikarenakan pengaruh arus listrik terhadap perubahan rugi daya masih sangat kecil dan pada rentang arus tersebut, nilai perubahan rugi daya masih disebabkan oleh *error* OTDR seperti penjelasan sebelumnya. Pada arus listrik 5 A, tingkat presisi sensor serat optik berstruktur SMS yang telah dirancang menjadi lebih baik sebesar 18,9 %. Pada arus listrik 7,4-17 A, tingkat presisi sensor serat optik berstruktur SMS telah mencapai di bawah 10%.

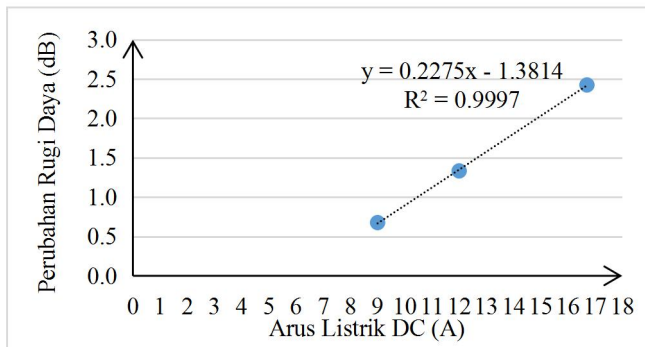


Gambar 4.14 Uji Presisi Sensor Serat Optik Berstruktur SMS 141,9 mm

Berdasarkan gambar 4.14 terlihat *trend* kenaikan perubahan rugi daya akibat arus listrik yang mengalir pada kawat penghantar. Untuk mengetahui karakteristik statis dari sensor yang telah dibuat, maka perlu ditentukan *range* yang memiliki linieritas paling baik. Pada gambar 4.4 terlihat linieritas antara perubahan rugi daya terhadap arus listrik DC yang paling baik pada *range* arus listrik 9 -17 A. Sehingga, pada *range* tersebut akan dilakukan analisis karakteristik statis sensor serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm.

4.8. Analisis Karakteristik Statis Serat Optik Berstruktur SMS dengan *Multimode* sepanjang 141,9 mm Sebagai Sensor Arus Listrik DC

Pada sub bab ini akan dilakukan pembahasan tentang analisis karakteristik statis dari serat optik berstruktur SMS dengan panjang 141,9 mm sebagai sensor arus listrik DC.



Gambar 4.15 Grafik Perubahan Rugi Daya terhadap Arus Listrik DC pada Sensor Serat Optik Berstruktur SMS 141,9 mm yang Memiliki Linieritas Terbaik

Berdasarkan gambar 4.15, serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm sebagai sensor arus listrik DC memiliki *range* pengukuran antara 9-17 A sebagai nilai masukan sensor. Sementara *range* nilai keluaran sensor antara

0,676 -2,425 dB, nilai tersebut adalah perubahan rugi daya yang mampu dideteksi oleh OTDR. Sementara nilai *span* sensor tersebut sebesar 8 A sebagai nilai masukan dan 1.7485 dB sebagai nilai keluaran, yang diperoleh dari selisih nilai masukan maksimal dengan nilai masukan minimal dan nilai keluaran maksimal dan nilai keluaran minimal. Linieritas dari sensor yang telah dibuat, dihitung menggunakan persamaan 2.1. berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh persamaan linieritas sensor yaitu Perubahan Rugi Daya = 0,2186I - 1,9672, simbol I pada persamaan tersebut adalah besar nilai arus listrik DC sebagai nilai masukan, sementara perubahan rugi daya sebagai nilai keluaran. Sedangkan ketika dibandingkan dengan persamaan regresi dari gambar 2.15 $y = 0.2275xx - 1.3814$, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9997. Koefisien determinasi tersebut menjelaskan variasi pengaruh variabel bebas (arus listrik DC) terhadap variabel terikat (perubahan rugi daya). Ketika nilai R^2 yang diperoleh sebesar 0,9997 artinya proporsi pengaruh arus listrik terhadap perubahan rugi daya sebesar 99,97%. Untuk mengetahui, nilai sensitivitas dari sensor yang telah dirancang, maka dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.2 yaitu *span* nilai keluaran dibagi dengan *span* nilai masukan. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh nilai sensitivitas sensor sebesar 0,219 dB/A pada arus listrik 12 A. Perhitungan nilai resolusi sensor dan akurasi sensor yang telah dibuat tidak dapat dilakukan karena, pada *range* pengukuran 9-17 A, hanya terdapat 3 titik pengukuran, atau tidak dilakukan pengukuran dengan perubahan kenaikan arus listrik yang sama. Hal ini disebabkan karena keterbatasan alat eksperimen yang dimiliki. Berikut ini adalah tabel karakteristik statis sensor serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm

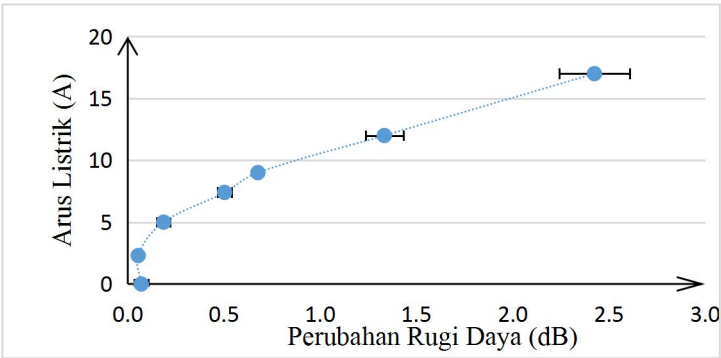
Tabel 4.3 Karakteristik Statik Serat Optik Berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm Sebagai Sensor Arus Listrik DC

Karakteristik Statik Sensor			L MMF 141.9 mm
Range	Input Arus(A)	min	9
		max	17

	Output (dB)	min	0,186
		max	2,425
Karakteristik Statik Sensor			L MMF 141.9 mm
Span	Input Arus (A)		8
	Output (dB)		1,749
Sensitivitas (dB/A)			0, 219
Korelasi R ²			0,9997
Persamaan Linieritas			Perubahan Rugi Daya = 0,2186I - 1,9672

4.9. Serat Optik Berstruktur SMS dengan *Multimode* sepanjang 141,9 mm Sebagai Alat Ukur Arus Listrik

.berikut ini adalah grafik yang menjelaskan perubahan rugi daya (dB) sebagai nilai *input* dan arus listrik sebagai nilai *output*. Hasil pembuatan grafik dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Sensor Serat Optik Berstruktur SMS Sebagai Alat Ukur

Pada gambar tersebut, dapat diketahui perubahan nilai rugi daya 2,425 dB mampu untuk pengukuran arus listrik sebesar 17 A. Serat oprik bestruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm mampu melakukan pengukuran mulai arus 5 A, dengan nilai perubahan rugi daya sebesar 0,186 dB. Agar menjadi sensor arus listrik dengan baik, maka diperlukan pengolahan sinyal dari perubahan rugi daya (dB).

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh serta meninjau kembali permasalahan, batasan masalah, dan tujuan dari tugas akhir ini, maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan, yaitu :

- a. Telah dilakukan perancangan sensor arus listrik berbasis serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) menggunakan *optical time domain reflectometer* (OTDR) pada arus searah (DC) dengan rentang arus 0 hingga 17 A secara eksperimen.
- b. Telah dilakukan tiga variasi panjang serat optik *multimode step index* untuk pembuatan sensor arus listrik DC berbasis serat optik berstruktur SMS yaitu 141,9 mm, 142,3 mm, dan 142,5 mm.
- c. Serat Optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm sebagai sensor arus listrik DC memiliki rentang pengukuran antara 9-17 A dengan nilai *span* sebesar 8 A. Sensor tersebut memiliki sensitivitas sebesar 0,219 dB/A. Persamaan linieritas yang diperoleh adalah Perubahan Rugi Daya = $0,2186I - 1,9672$. Pada rentang pengukuran 7,4-17 A, serat optik berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm memiliki tingkat presisi yang baik karena telah mencapai di bawah 10%.
- d. Sumber cahaya dengan λ 1310 nm lebih baik digunakan sebagai sumber cahaya untuk perancangan sensor arus listrik berbasis serat optik daripada sumber cahaya dengan λ 1550 nm karena menghasilkan konstanta Verdet lebih tinggi. Nilai rugi daya yang diperoleh saat pengujian serat optik berstruktur SMS 142,5 mm terhadap arus listrik 17 A menggunakan sumber cahaya dengan λ 1310 nm sebesar 0,636 dB dan saat menggunakan sumber cahaya dengan λ 1550 nm sebesar 0,264 dB

5.2. Saran

Saran yang diberikan terkait pengembangan penelitian ini adalah :

- a. Dalam proses pembuatan sensor serat optik berstruktur SMS, perlu menggunakan *cleaver* dengan skala mikro agar hasil pemotongan yang didapat lebih presisi.
- b. Dapat dikembangkan pembuatan sensor arus listrik DC berbasis serat optik SMS *multipoint* menggunakan OTDR.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, Herve.2010. **Exyclopedia of Research Design**. Thousand Oaks. California : Sage
- Alavi, Omid. 2015 “ *Current Measurement with Optical Current Transformer*. **Journal of World’s Electrical Engineering and Technology**. 4(1) :29-35
- Anritsu, 2011.”*Understanding OTDRs*”. Anritsu Corporation: Japan
- Arifin, A., A.M.Hatta, Sekartedjo, M. S. Muntini, dan A. Rubiyanto. 2015. “Long-Range Displacement Sensor Based on SMS Fiber Structure and OTDR”. **PHOTONIC SENSORS**. Vol.5, No 2 : 166-171
- ASHREA, 2009.” *Measurement and Instruments*”.ASHREA Handbook Fundamental. USA
- Bentley, J. P., 1995. **Principle of Measurement Systems 3rd edition**. USA : Prentice Hall
- FIBERCORE, 2014. **Spun Fiber Current Sensor**. Technical Note. United Kingdom : FIBERCORE
- Kao, Charles, Philips dan Philips St. John R, 2009.”**Fiber Optics Fundamental of Photonics**”. New York : John Wiley and Sons, Incoorporation.
- Charolina F. dan Fabiano F, 2013.”Optoelectronics and Electromagnetic Applications”.**Journal of Microwaves**, Vol.12, No.2
- Ellis, Russel, 2015. **Explanation of Reflection Features in Optical Fiber as Sometimes Observed in OTDR Measurement Traces**. New York : Corning, Inc
- Hatta, A. M., Gerald Farrell, dan Yuliya Semenova. 2009. **Singlemode-Multimode-Singlemode Optical Fibre Structures for Optical Sensing**. Thesis. Dublin : Electronic and Communication Engineering, Faculty of Engineering. Dublin Institute of Technology
- Hatta, A. M., T. Bestariyan, K. Indriawati, dan Sekartedjo. 2013. “SMS Fiber Structure for Temperature Measurement Using an OTDR”. **Photonics Sensors**. Vol.3, No 3:262-266

- Jeong, Jay. 2006. **Polarization Control and Measurements for Optical Fiber**. USA : Newport Corporation.
- Li, Lin, Qun Han, Yaofei Chen, Tiegun Liu, dan Rongxiang Zhang, 2014. "An All-Fiber Optic Current Sensor Based on Ferrofluids and Multimode Interference". **IEEE SENSORS JOURNAL**, Vol.14, No.6 : 1749-1753.
- Joseba Zubia, Luciano Casudo, dkk, 2013. "Design and Development of a Low-Cost Optical Current Sensor" **Sensor**, vol.13 :13584-13595.
- Keiser, G. 1991. **Optical Fiber Communication Second Edition**. Singapore : McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kersey, A.D.,A. Dandridge, 1988. "Distributed and multiplexed fibre-optic sensor systems". **Journal of The Institution of Electronic and Radio Engineer**. Vol 68. No.5 : S99-S111.
- Kucuksari, Sadik. 2010. " Experimental Comparison of Conventional and Optical Current Transformers". **IEEE Transactions On Power Delivery**. Vol.25 No.4
- Kumar, Arun, Ravi K. Varshey, Siny Antony C., dan Pratha Sharma. 2003. "Transmission Characteristics of SMS Fiber Optic Sensor Structure". **Optics Communication**. 215-219.
- Kurosawa, Kiyoshi. 2014. "Development of Fiber-Optic Current Sensing Technique and Its Applications in Electric Power System". **PHOTONICS SENSOR**, Vol.4, No.1: 12-20
- Novitasari, K., A.M Hatta, dan Sekartedjo K. 2015. **Rancang Bangun Sensor Arus Listrik Searah (DC) Berbasis Serat Optik Berstruktur Singlemode - Multimode Step Index-Singlemode (SMS)**". Indonesia : Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Qian Wang, Gerald Farrell, Wei Yan. 2008. "*Investigation on Single-Mode - Multimode- Single-Mode Fiber Structure*". **Journal Of Lightwave Technology**, Vol. 26, No.5 : 512-519.
- Respati, K. Sofian, Indras, 2007."Efek Magnetooptis pada Lapisan AgBr Terekspos". **Laboratorium Elektronika Optis, Universitas Diponegoro**. ISSN :1410-9962.

- Sahodo, Yasin Agung. 2013. "A Characterization Prototype Multimode Interference Device (MMI) For Optical Power Divider". **Institut Teknologi Sepuluh Nopember Magister Program of Optoelectronics.**
- Stoylen, A., n.d." *Strain Rate Hanging*". **Norwegian University of Science and Technology.**
- Thomas G., Spears. 2003."The Verdet Constant of Light Flint Glass". Ohio : Physics Department, The College of Wooster
- Thorlabs, 2014, **Spun Fiber Verdet Constant**.California : Thorlabs Inc.
- Zieger, Silvio, Robert C. Woodward, Herbert Ho-Ching lu, dan Lawrence J.B.. 2009. "Current review Techniques : A Review". **IEEE SENSOR JOURNAL**. Vol. 9, No.4 : 354-376

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

A.1. DATA HASIL EXPERIMEN

Tabel A.1.1 Uji Kestabilan OTDR

- Total Fiber Loss Rata-rata = **0,515 dB**
- Standar Deviasi *Total Fiber Loss* = **0,021 dB**
- Resolusi OTDR = *Total Fiber Loss* maksimum - *Total Fiber Loss* minimum = 0,555 - 0,480 = **0,075 dB**

Sampel Ke-	<i>Total Fiber Loss</i> (dB)	Selisih Antar Data (dB)
1	0.520	
2	0.487	0.033
3	0.494	0.007
4	0.488	0.006
5	0.501	0.013
6	0.500	0.001
7	0.500	0
8	0.493	0.007
9	0.493	0
10	0.523	0.03
11	0.512	0.011
12	0.515	0.003
13	0.529	0.014
14	0.541	0.012
15	0.539	0.002
16	0.528	0.011
17	0.525	0.003
18	0.505	0.02
19	0.501	0.004

Sampel Ke-	<i>Total Fiber Loss</i> (dB)	Selisih Antar Data (dB)
20	0.545	0.044
21	0.537	0.008
22	0.536	0.001
23	0.529	0.007
24	0.519	0.01
25	0.517	0.002
26	0.508	0.009
27	0.505	0.003
28	0.494	0.011
29	0.488	0.006
30	0.489	0.001
31	0.505	0.016
32	0.508	0.003
33	0.508	0
34	0.492	0.016
35	0.491	0.001
36	0.483	0.008
37	0.493	0.01
38	0.498	0.005
39	0.488	0.01
40	0.500	0.012
41	0.495	0.005
42	0.481	0.014
43	0.482	0.001
44	0.482	0
45	0.480	0.002

Sampel Ke-	<i>Total Fiber Loss</i> (dB)	Selisih Antar Data (dB)
46	0.496	0.016
47	0.490	0.006
48	0.500	0.01
49	0.508	0.008
50	0.519	0.011
51	0.512	0.007
52	0.519	0.007
53	0.516	0.003
54	0.525	0.009
55	0.521	0.004
56	0.517	0.004
57	0.510	0.007
58	0.505	0.005
59	0.498	0.007
60	0.487	0.011
61	0.498	0.011
62	0.495	0.003
63	0.496	0.001
64	0.487	0.009
65	0.495	0.008
66	0.498	0.003
67	0.503	0.005
68	0.509	0.006
69	0.526	0.017
70	0.524	0.002
71	0.528	0.004

Sampel Ke-	<i>Total Fiber Loss</i> (dB)	Selisih Antar Data (dB)
72	0.536	0.008
73	0.541	0.005
74	0.542	0.001
75	0.541	0.001
76	0.537	0.004
77	0.543	0.006
78	0.552	0.009
79	0.547	0.005
80	0.546	0.001
81	0.551	0.005
82	0.549	0.002
83	0.537	0.012
84	0.555	0.018
85	0.543	0.012
86	0.540	0.003
87	0.526	0.014
88	0.546	0.02
89	0.540	0.006
90	0.543	0.003
91	0.541	0.002
92	0.545	0.004
93	0.533	0.012
94	0.529	0.004
95	0.526	0.003
96	0.533	0.007
97	0.525	0.008

Sampel Ke-	<i>Total Fiber Loss</i> (dB)	Selisih Antar Data (dB)
98	0.527	0.002
99	0.511	0.016
100	0.513	0.002

Tabel A.1.2 Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142,5 mm pada λ 1310 nm

Arus Listrik (A)	Perubahan Rugi Daya (dB)			Perubahan Rugi Rata-rata (dB)	Stdev
	1	2	3		
0	0.033	0.039	0.021	0.031	0.009
2	0.135	0.011	0.045	0.064	0.064
4	0.116	0.003	0.138	0.086	0.072
6	0.215	0.117	0.328	0.220	0.106
7	0.289	0.197	0.396	0.294	0.100
8	0.478	0.208	0.469	0.385	0.153
9	0.399	0.261	0.468	0.376	0.105
12	0.423	0.271	0.468	0.387	0.103
17	0.661	0.542	0.704	0.636	0.084

Tabel A.1.3 Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142,5 mm pada λ 1550 nm

Arus Listrik (A)	Perubahan Daya (dBm)			Perubahan Daya (dBm)	Stdev
	1	2	3		
0	0.049	0.046	0.058	0.051	0.007
2	0.076	0.046	0.029	0.050	0.024
4	0.112	0.21	0.056	0.126	0.078
6	0.260	0.128	0.12	0.169	0.079
7	0.200	0.201	0.216	0.206	0.009
8	0.122	0.223	0.138	0.161	0.054
9	0.149	0.013	0.057	0.073	0.069
12	0.160	0.152	0.27	0.194	0.066
17	0.286	0.238	0.269	0.264	0.024

Tabel A.1.4 Pengujian Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan *multimode* sepanjang 142,5 mm Menggunakan *Optical Laser Source* dengan λ 1310 nm dan *Optical Power Meter*

Arus Listrik (A)	Perubahan Daya (dBm)			Perubahan Daya (dBm)	Stdev
	1	2	3		
0	0.011	0.017	0.018	0.015	0.004
2	0.021	0.013	0.047	0.027	0.018
4	0.055	0.048	0.117	0.073	0.038
6	0.064	0.082	0.185	0.110	0.065
7	0.101	0.19	0.284	0.192	0.092
8	0.113	0.178	0.338	0.210	0.116
9	0.248	0.344	0.412	0.335	0.082
12	0.284	0.379	0.414	0.359	0.067
17	0.628	0.664	0.655	0.649	0.019

Tabel A.1.5 Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik SMS dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm

Arus Listrik (A)	Perubahan Rugi Daya (dB)			Perubahan Rugi Rata-rata (dB)	Stdev
	1	2	3		
0	0.055	0.178	0.046	0.093	0.074
2	0.085	-0.201	-0.125	-0.080	0.148
4	0.021	0.207	0.283	0.170	0.135
6	0.217	0.392	0.468	0.359	0.129
7	0.319	0.649	0.725	0.564	0.216
8	0.358	0.515	0.887	0.587	0.272
9	0.533	0.902	0.978	0.804	0.238
12	0.979	0.373	1.281	0.878	0.462
17	3.407	3.547	3.772	3.575	0.184

Tabel A.1.6 Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik SMS dengan *multimode* sepanjang 142,3 mm

Arus Listrik (A)	Perubahan Rugi Daya (dB)			Perubahan Rugi Rata-rata (dB)	Stdev
	1	2	3		
0	0.026	0.011	0.016	0.018	0.007
2	0.022	0.004	0.157	0.061	0.084
4	0.005	0.024	0.135	0.055	0.070
6	0.045	0.063	0.034	0.047	0.015
7	0.122	0.111	0.012	0.082	0.061
8	0.163	0.168	0.057	0.129	0.063
9	0.096	0.194	0.101	0.130	0.055
12	0.403	0.448	0.378	0.410	0.035
17	0.844	0.705	0.519	0.689	0.163

Tabel A.1.7 Pengaruh Arus Listrik DC terhadap Sensor Serat Optik SMS dengan *multimode* sepanjang 142,5 mm

Arus Listrik (A)	Perubahan Rugi Daya (dB)			Perubahan Rugi Rata-rata (dB)	Stdev
	1	2	3		
0	0.033	0.039	0.021	0.031	0.009
2	0.135	0.011	0.045	0.064	0.064
4	0.116	0.003	0.138	0.086	0.072
6	0.215	0.117	0.328	0.220	0.106
7	0.289	0.197	0.396	0.294	0.100
8	0.478	0.208	0.469	0.385	0.153
9	0.399	0.261	0.468	0.376	0.105
12	0.423	0.271	0.468	0.387	0.103
17	0.661	0.542	0.704	0.636	0.084

Tabel A. 1.8 Hasil Uji Presisi Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan *Multimode* sepanjang 141.9 mm

Arus Listrik (A)	Perubahan Rugi Daya (dB)				Perubahan Rugi Daya rata-rata (dB)	Stdev
	1	2	3	4		
0	0.094	0.017	0.074	0.096	0.070	0.037
2.3	0.027	0.067	0.063	0.060	0.054	0.018
5	0.216	0.140	0.178	0.211	0.186	0.035
7.4	0.491	0.497	0.470	0.554	0.503	0.036
9	1.416	1.255	1.420	1.241	1.333	0.098
12	1.416	1.255	1.420	1.241	1.333	0.098
17	2.177	2.453	2.452	2.617	2.425	0.182

Tabel A. 1.9. Perhitungan Data Uji Presisi Sensor Serat Optik Berstruktur SMS dengan *Multimode* sepanjang 141,9 mm

- Rugi daya adalah *event loss* yang terdeteksi oleh OTDR terjadi pada serat optik berstruktur SMS
- Perubahan rugi daya adalah selisih rugi daya ketika ada aliran arus listrik dan tidak ada aliran arus listrik (0 A).
- Hasil Perubahan Rugi daya yang diperoleh, dijadikan data pada tabel A.1.9 hasil uji presisi sensor serat optik berstruktur sms dengan *multimode* sepanjang 141,9 mm

17 A			
Pengukuran Ke-	0 A	17 A	Perubahan Rugi Daya (dB)
	Rugi Daya(dB)	Rugi Daya (dB)	
1	10.912	8.735	2.177
2	11.125	8.672	2.453
3	11.046	8.594	2.452
4	11.129	8.512	2.617
Rata Rata Perubahan Rugi Daya			2.425
Standard Deviasi			0.182

12 A			
Pengukuran Ke-	0 A	12 A	Perubahan Rugi Daya (dB)
	Rugi Daya(dB)	Rugi Daya (dB)	
1	11.267	9.851	1.416
2	11.279	10.024	1.255
3	11.333	9.913	1.420
4	11.234	9.993	1.241
Rata Rata Perubahan Rugi Daya			1.364
Standard Deviasi			0.098

9 A			
Pengukuran Ke-	0 A	9 A	Perubahan Rugi Daya (dB)
	Rugi Daya(dB)	Rugi Daya (dB)	
1	11.711	11.018	0.693
2	11.695	11.05	0.645
3	11.718	11.034	0.684
4	11.724	11.041	0.683
Rata Rata Perubahan Rugi Daya			0.676
Standard Deviasi			0.021

7.4 A			
Pengukuran Ke-	0 A	7.4 A	Perubahan Rugi Daya (dB)
	Rugi Daya(dB)	Rugi Daya (dB)	
1	11.42	10.929	0.491
2	11.445	10.948	0.497
3	11.46	10.99	0.47
4	11.555	11.001	0.554
Rata Rata Perubahan Rugi Daya			0.503
Standard Deviasi			0.036

5 A			
Pengukuran Ke-	0 A	5 A	Perubahan Rugi Daya (dB)
	Rugi Daya(dB)	Rugi Daya (dB)	
1	11.823	11.607	0.216
2	11.79	11.65	0.14
3	11.754	11.576	0.178
4	11.773	11.562	0.211
Rata Rata Perubahan Rugi Daya			0.186
Standard Deviasi			0.035

2.3 A			
Pengukuran Ke-	0 A	2.3 A	Perubahan Rugi Daya (dB)
	Rugi Daya(dB)	Rugi Daya (dB)	
1	11.42	11.776	0.027
2	11.445	11.745	0.067
3	11.46	11.897	0.063
4	11.555	11.841	0.060
Rata Rata Perubahan Rugi Daya			0.054
Standard Deviasi			0.018

2.3 A			
Pengukuran Ke-	0 A	2.3 A	Perubahan Rugi Daya (dB)
	Rugi Daya(dB)	Rugi Daya (dB)	
1	11.42	11.776	0.027
2	11.445	11.745	0.067
3	11.46	11.897	0.063
4	11.555	11.841	0.060
Rata Rata Perubahan Rugi Daya			0.054
Standard Deviasi			0.018

0 A		
Pengukuran Ke-	Rugi Daya (dB)	Perubahan Rugi Daya (dB)
1	11.838	
2	11.932	0.094
3	11.915	0.017
4	11.841	0.074
	11.937	0.096
Rata Rata Perubahan Rugi Daya		0.070
Standard Deviasi		0.037

LAMPIRAN B SPESIFIKASI ALAT

B.1. Spesifikasi Serat Optik *Singlemode Step Index* Corning®SMFe+®

Maximum Attenuation

Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	≤ 0.35
1383**	≤ 0.35
1490	≤ 0.24
1550	≤ 0.20
1625	≤ 0.23

* Alternate attenuation offerings available upon request.

** Attenuation values at this wavelength represent post-hydrogen aging performance.

Attenuation vs. Wavelength

Range (nm)	Ref. λ (nm)	Max. α Difference (dB/km)
1285 – 1330	1310	0.03
1525 – 1575	1550	0.02

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength (λ) by more than the value α .

Macrobend Loss

Mandrel Diameter (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation* (dB)
32	1	1550	≤ 0.03
50	100	1310	≤ 0.03
50	100	1550	≤ 0.03
60	100	1625	≤ 0.03

*The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified diameter.

Gambar B.1 Spesifikasi Serat Optik *Singlemode Step Index*
Corning®SMFe+®

Glass Geometry

Fiber Curl	≥ 4.0 m radius of curvature
Cladding Diameter	125.0 ± 0.7 μm
Core-Clad Concentricity	≤ 0.5 μm
Cladding Non-Circularity	$\leq 0.7\%$

Coating Geometry

Coating Diameter	242 ± 5 μm
Coating-Cladding Concentricity	< 12 μm

Gambar B.2 Spesifikasi Geometri Serat Optik *Singlemode Step Index* Corning®SMFe+®

Characterized parameters are typical values.

Core Diameter	8.2 μm
Numerical Aperture	0.14 NA is measured at the one percent power level of a one-dimensional far-field scan at 1310 nm.
Effective Group Index of Refraction (N_{eff})	1310 nm: 1.4676 1550 nm: 1.4682
Fatigue Resistance Parameter (N_d)	20
Coating Strip Force	Dry: 0.6 lbs. (3N) Wet, 14-day room temperature: 0.6 lbs. (3N)
Rayleigh Backscatter Coefficient (for 1 ns Pulse Width)	1310 nm: -77 dB 1550 nm: -82 dB

Gambar B.3 Karakteristik Performansi Serat Optik *Singlemode Step Index* Corning®SMFe+®

Nilai *effective grup index of refraction* pada Gambar B.3 dijadikan sebagai nilai *index of refraction* (IOR) pada OTDR. Sementara

nilai *Rayleigh backscattering coefficient* dijadikan sebagai nilai *index of refraction* (IOR) pada OTDR.

Environmental Test	Test Condition	Induced Attenuation
		1310 nm, 1550 nm, and 1625 nm (dB/km)
Temperature Dependence	-60°C to +85°C*	≤ 0.05
Temperature Humidity Cycling	-10°C to +85°C up to 98% RH	≤ 0.05
Water Immersion	23°C ± 2°C	≤ 0.05
Heat Aging	85°C ± 2°C	≤ 0.05
Damp Heat	85°C at 85% RH	≤ 0.05

*Reference temperature = +23°C

Operating Temperature Range: -60°C to +85°C

Gambar B.4 Karakteristik Lingkungan Serat Optik *Singlemode Step Index* Corning®SMF-⁺

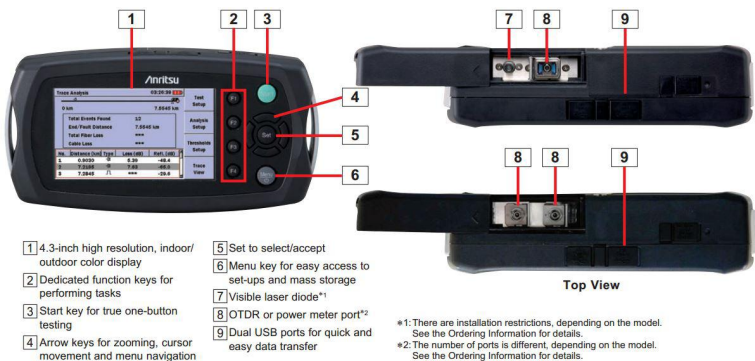
B.2. Spesifikasi Serat Optik *Multimode Step Index* (Thorlabs' 0.22 NA step index multimode fiber)

0.22 NA Hard Cladding, Silica Core, Multimode Fiber	
Wavelength Range	400 - 2400 nm (Low OH) 250 - 1200 nm (High OH) ^a
Core / Cladding	Pure Silica / Fluorine-Doped Silica
Coating	Acrylate
Operating Temperature	-40 to 85 °C
Numerical Aperture (NA)	0.22 ± 0.02
Bandwidth @ 820 nm	15 MHz•km

a. Solarization may occur at wavelengths below 300 nm

Gambar B.5 Spesifikasi Serat Optik *Multimode Step Index* (Thorlabs' 0.22 NA step index multimode fiber)

B.3. Spesifikasi OTDR (Anritsu μOTDR MU909015A)



Gambar B.6 Fungsi Tombol pada Anritsu μOTDR MU909015A

Fiber Type	10 μm/125 μm SMF (ITU-T G.652)
Optical Connector	FC/SC/DIN adapter are changeable
Distance Range	0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 75, 125, 250 km (IOR=1.500000)
Pulse Width	5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 ns, 1, 2, 5, 10, 20 μs
Linearity	Which ever is greater ±0.05 dB/dB or ±0.1 dB
Return Loss Measurement Accuracy*1	±2 dB
Distance Measurement Accuracy	±1 m ±3 × Measurement distance × 10 ⁻⁵ ±Marker resolution (excluding IOR uncertainty)
Data Storage	Internal memory: 40 MB (<1,000 traces) External (USB Memory): 1 GB (<30,000 traces)
IOR Setting	1.3000 to 1.7000 (0.0001 steps)
Units	km, m, kft, ft, mi

Gambar B.7 Spesifikasi Anritsu μOTDR MU909015A

B.4. Spesifikasi *Fiber Polarization Controller* Tholabs FPC 030



Gambar B.8 Fiber Polarization Controller Thorlabs FPC 030

Item #	FPC030	FPC031	FPC032
Paddle Material	Black Delrin		
Number of Paddles	3		
Loop Diameter	1.06" (27 mm)		
Paddle Rotation	$\pm 117.5^\circ$		
Foot Print (L x W)	8.5" x 1.0" (215.9 mm x 25.4 mm)		
Fiber	None	CCC1310-J9	
Operating Wavelength Range ^a	N/A	1260 - 1625 nm	
Design Wavelength ^b	N/A	1310 nm	
Mode Field Diameter	N/A	8.6 \pm 0.4 μ m @ 1310 nm 9.7 \pm 0.5 μ m @ 1550 nm	
Cladding Diameter	N/A	125 \pm 0.7 μ m	
Coating Diameter	N/A	242 \pm 5 μ m	
Tubing Diameter	N/A	Ø900 μ m Tight Buffer	
Numerical Aperture	N/A	0.14	
Loop Configuration ^c	N/A	2-3-2	
Connectors	N/A	FC/PC	FC/APC
Bend Loss	N/A	≤ 0.1 dB	

Gambar B.9 Spesifikasi *Fiber Polarization Controller*
Thorlabs FPC 030

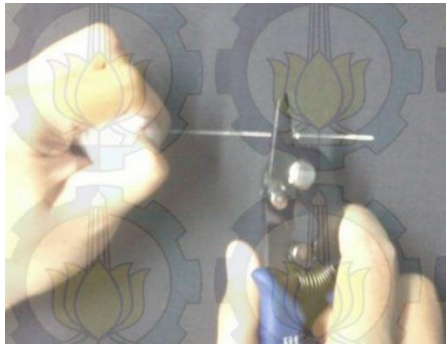
Putaran *paddle* atau *wave plate* polarisator merupakan fungsi dari panjang gelombang yang digunakan, pada penelitian ini menggunakan panjang gelombang 1310 nm.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

SET UP EXPERIMEN

Berikut ini adalah penjelasan tentang proses perancangan serat optik berstruktur SMS dan proses eksperimen



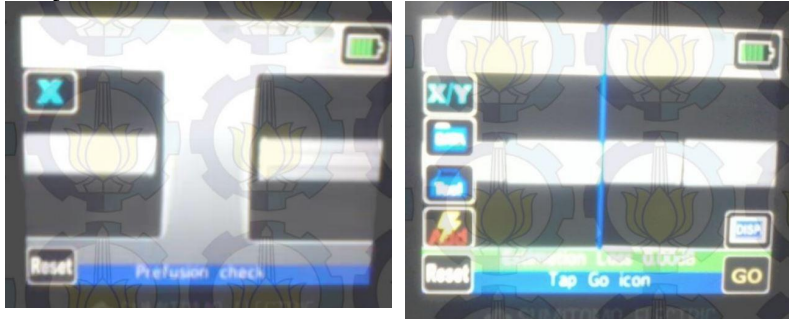
Gambar C.1 Proses pengupasan *coating* serat optik menggunakan *fiber stripper Sumitomo Electric*.

Proses pengupasan coating dilakukan pada semua ujung serat optik yang akan disambung baik serat optik *singlemode* maupun *multimode*. Selain itu, *coating* pada serat optik *multimode* semua dikupas.



Gambar C.2 Proses pemotongan ujung serat optik menggunakan *fiber cleaver Sumitomo Electric*.

Setelah dilakukan pengupasan, dilakukan pemotongan ujung serat optik menggunakan *fiber cleaver* agar ujung serat optik menjadi rata.

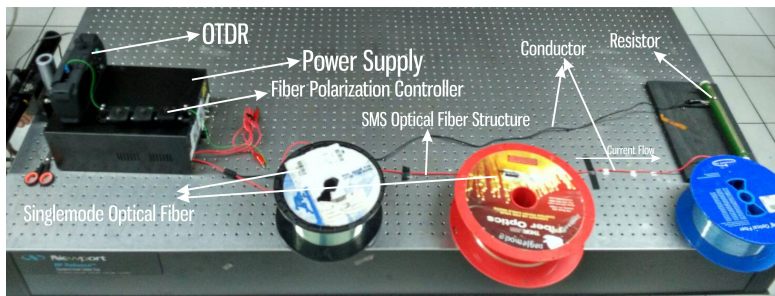


Gambar C.3 Proses Penyambungan ujung serat optik menggunakan *fiber fusion splicer Sumitomo Electric*.

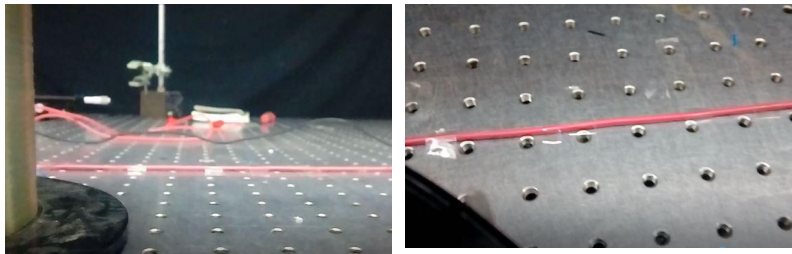
Setelah pemotongan serat optik dan dibersihkan menggunakan alkohol, dilakukan penyambungan kedua ujung serat optik. Pada gambar C.3 menunjukkan *display* dari *fiber fusion splicer* untuk mengamati stuktur geometri serat optik yang akan disambung. Ketika hasil tidak rata, maka perlu dilakukan proses pengelupasan *coating* dan pemotongan ulang. Setelah dipastikan strukutr geometri serat optik terlihat baik, maka dilakukan penyambungan seperti gambar C.3 dengan estimasi *loss* yang dihasilkan 0,00 dB. Pada experimen yang dilakukan proses penyambungan serat optik terjadi pada ;

1. Serat optik *singlemode pigtail* disambungkan pada serat optik *singlemode* Corning®SMFe+® gulungan pertama (± 1550 m). Serat optik *singlemode pigtail* tersebut akan tersambung pada OTDR
2. Serat optik *singlemode* Corning®SMFe+® gulungan pertama (± 1550 m) disambung dengan serat optik *multimode* dengan panjang tertentu pada ujung pertama.
3. Ujung kedua serat optik *multimode* disambung dengan Serat optik *singlemode* Corning®SMFe+® gulungan kedua (± 500 m)

Berikut ini adalah hasil dari *set-up* eksperimen



Gambar C.4 *Set-up* Eksperimen



Gambar C.5 Penempelan serat optik berstruktur SMS pada kawat

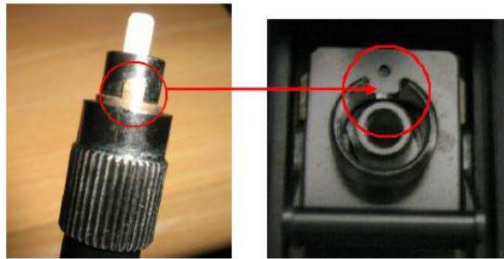
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D

PROSEDUR MENGGUNAKAN OTDR

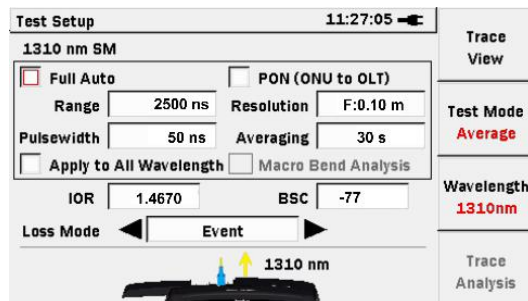
Berikut ini adalah penjelasan prosedur menggunakan OTDR (Anritsu μ OTDR MU909015A)

- Patchcord* dari serat optik *singlemode* dibersihkan menggunakan tisu beralkohol.
- Patchcord* dihubungkan pada konektor OTDR, dipastikan bahwa sudah tersambung dengan alur yang benar.



Gambar D.1 Menghubungkan *Patchcord* pada Konektor OTDR

- Dilakukan pengaturan parameter OTDR meliputi *wavelength*, *range*, *pulsewidth*, *resolution*, *averaging time*, *IOR*, dan *BSC*. Penjelasan lengkap pada Bab III.



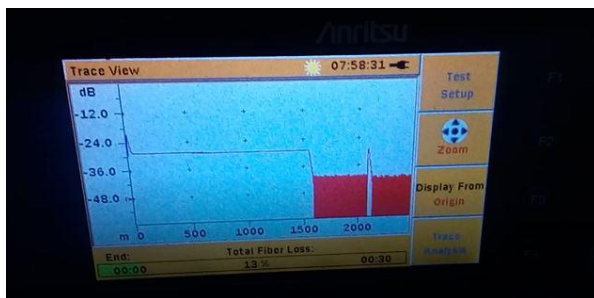
Gambar D.2 Pengaturan Parameter OTDR

- d. Setelah dilakukan pengaturan maka dapat dimulai untuk proses deteksi. Tekan tombol *start* untuk memulainya. Pengukuran akan berjalan secara otomatis jika koneksi yang dihasilkan “Good”. Jika koneksi yang muncul “Fair” atau “Poor”, maka dilakukan pengecekan ulang pada penghubungan *patchcord* dan konektor OTDR, atau langsung ditekan tombol “F3”.



Gambar D.3 Proses Awal Deteksi Serat Optik menggunakan OTDR

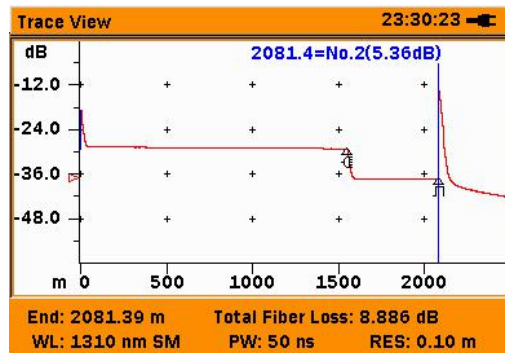
- e. Kemudian, proses deteksi serat optik menggunakan OTDR mulai bekerja, seperti gambar berikut.



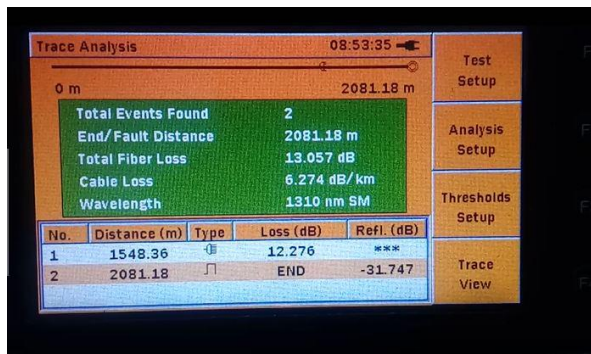
Gambar D.4 Proses Deteksi Serat Optik menggunakan OTDR

Pada gambar D.4 terlihat ada penurunan daya cahaya pantul yang terdeteksi oleh OTDR. Penurunan daya tersebut dikarenakan adanya serat optik berstruktur SMS. Proses deteksi akan berjalan sesuai waktu *averaging* yang telah ditentukan

- f. Hasil akhir deteksi serat optik menggunakan OTDR. Berikut ini adalah contoh tampilan hasil akhir dan hasil analisis yang ditampilkan oleh OTDR.



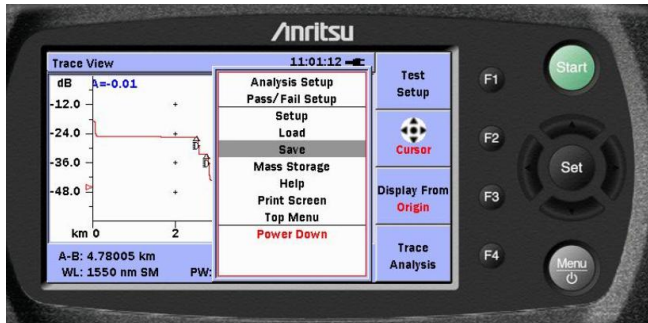
Gambar D.5 Hasil Akhir Deteksi Serat Optik menggunakan OTDR



Gambar D.6 Trace Analysis Serat Optik menggunakan OTDR

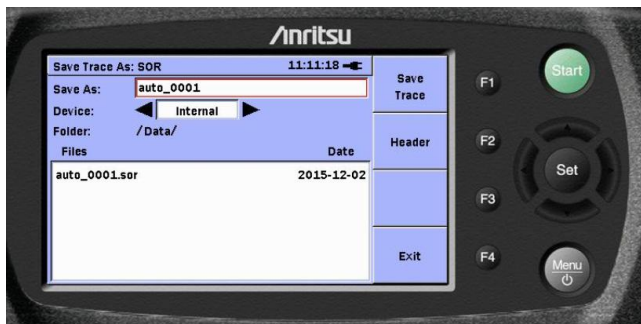
Pada *trace analysis*, dapat diketahui panjang total serat optik, besarnya nilai *loss* beserta estimasi jarak *loss* dan jenis dari *loss* tersebut. Kemudian data dapat langsung ditulis atau disimpan.

- g. Menyimpan hasil deteksi atau *trace*
- Tombol “Menu/Power” ditekan, kemudian dipilih “Save”



Gambar D.7 Tahap 1 Menyimpan hasil *Trace*

- Tombol “Set” ditekan untuk mengganti nama, dan tombol F1 untuk menyimpan data.



Gambar D.8 Tahap 2 Menyimpan hasil *Trace*

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Hafid Lutfan Ihwani. Penulis lahir di Sragen pada 10 Mei 1994. Tahun 2009, penulis lulus dari SMP Al Islam 1 Surakarta. Kemudian, penulis melanjutkan sekolah di SMA Negeri 4 Surakarta dan lulus pada tahun 2012. Di tahun yang sama, penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Fisika FTI ITS. Selama bestatus sebagai mahasiswa, penulis aktif dalam kepengurusan Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF FTI ITS) 14/15 dan sebagai asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika. Selain ini, penulis juga berkesempatan untuk mengikuti forum ilmiah tentang optik dan fotonik pada acara International OSA Network Student (IONS) Nanjing, China, 2015 dan kerja partik di PT. Excelitas Technologies Batam. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik dalam tugas akhir ini, bisa menghubungi penulis melalui email hafidlutfan.ep@gmail.com dan nomor telepon 085 747 343 984.

Halaman ini sengaja dikosongkan